

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Centro Sócio Econômico - CSE
Departamento de Economia e Relações Internacionais - CNM

ADRIANE ROSSAROLA

ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE INVESTIMENTO EM ENERGIA SOLAR E
EXTERNALIDADES:
Estudo de caso de uma empresa industrial em Santa Catarina

FLORIANÓPOLIS
2016

ADRIANE ROSSAROLA

**ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE INVESTIMENTO EM ENERGIA SOLAR E
EXTERNALIDADES:**

Estudo de caso de uma empresa industrial em Santa Catarina

Monografia submetida ao curso de Ciências
Econômicas da Universidade Federal de Santa
Catarina como requisito obrigatório para a
obtenção do grau de Bacharelado.

Orientador: Fernando Seabra

**FLORIANÓPOLIS
2016**

ADRIANE ROSSAROLA

**ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE INVESTIMENTO EM ENERGIA SOLAR E
EXTERNALIDADES:**

Estudo de caso de uma empresa industrial em Santa Catarina

A Banca Examinadora resolveu atribuir a nota 9,0 à aluna Adriane Rossarola na disciplina CNM 7107 - Monografia, pela apresentação deste trabalho.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fernando Seabra
Orientador

Prof. Thiago Fleith Otuki
Membro da Banca

Prof. Dr. Arlei Luiz Fachinello
Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, pelos grandes aprendizados ao superar as dificuldades enfrentadas, que me fazem lembrar quem sou com muito orgulho e melhorar a cada dia.

Agradeço imensamente à minha mãe, Lucia, pela liberdade que me deu para que eu seguisse o meu caminho, superando as preocupações que ela enfrentou em silêncio, na minha ausência. Sem dúvida você, mãe, é meu grande exemplo de vida! Obrigada pela confiança que sempre teve em mim.

Agradeço ao meu pai, Euclidio, pela liberdade e por ter me apoiado sempre em minhas decisões.

Agradeço ao meu irmão Valdecir, pelo companheirismo e por carregar minha mochila cheia de livros para a escola durante boa parte da minha infância.

Agradeço ao meu irmão Valdemir, a quem tenho como um filho, por ser um grande aprendizado para minha vida.

Agradeço em especial ao Daniel, por acreditar na minha capacidade de progredir e por ter me incentivado em cada etapa, antes de iniciar o curso de Ciências Econômicas e também durante o curso, pelos vários finais de semana que passamos estudando, pelas críticas em favor do meu crescimento profissional, pelo companheirismo e por me tornar uma pessoa melhor.

Agradeço aos meus felinos, Amora, Beterraba e Palmito, que apesar de tirarem um pouco do meu tempo de escrever a monografia, proporcionaram muita diversão, especialmente no último ano de graduação.

Agradeço ao Fernando, excelente professor que me orientou na evolução do tema e desenvolvimento da monografia.

Agradeço à VILCO Engenharia e Consultoria LTDA e à sua equipe técnica pelo fornecimento das informações, orientações e esclarecimentos no desenvolvimento do presente estudo de caso.

Agradeço à UFSC e àqueles professores que cumpriram suas funções como cientistas e contribuíram grandiosamente na minha formação acadêmica, ética e profissional.

***“A força não vem da vitória. Seus
esforços desenvolvem suas forças.
Quando você enfrenta
dificuldades e decide não se
entregar, isso é força”***

(Arnold Schwarzenegger)

RESUMO

Atualmente têm crescido o investimento em projetos de energias renováveis, na busca de uma maior eficiência energética e econômica mundial. Acordos internacionais que buscam combater os efeitos das mudanças climáticas e diminuição das emissões de CO₂ incentivam investimentos neste setor de infraestrutura, contudo, a forte tendência de queda no custo de implantação de projetos de energias renováveis é o principal fator para o avanço destas fontes energéticas. Este trabalho visa demonstrar que os países em desenvolvimento apresentam grande potencial de crescimento, bem como apresentar o atual cenário de investimento nas fontes de energia renovável. Pesquisa-se também a regulação da energia solar no Brasil, a matriz energética, custo e consumo nacional de energia. São apresentados os incentivos existentes no país e incentivos internacionais de sucesso que permitem a inserção da energia solar fotovoltaica em larga escala. Avalia-se a viabilidade econômica e financeira da implantação de uma Central de Geração Fotovoltaica em uma indústria localizada em Santa Catarina (Brasil) e analisa-se a sensibilidade da viabilidade e da rentabilidade do investimento diante de diferentes cenários, com a variação: da taxa de juros da parcela financiável; da taxa de câmbio sobre os insumos do projeto e do reajuste tarifário de energia elétrica. O estudo de caso deste investimento apresenta viabilidade econômica em todos os métodos de análise aplicados; Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Índice de Lucratividade (IL) e *Payback*. Na análise de sensibilidade, demonstrou-se os limites das variáveis analisadas que viabilizariam o investimento, permitindo uma análise sobre diferentes cenários econômicos. Apresenta-se a relação entre as variáveis deste estudo de caso sob o ponto de vista do atual cenário econômico e uma análise econômica a respeito das externalidades geradas pela realização do investimento, comparando-se com as fontes de energia não renováveis (Carvão, Petróleo e derivados, Gás Natural e Nuclear). Verifica-se externalidade positiva pelo uso da energia solar fotovoltaica, demonstrada pela redução de emissões de CO₂, representadas em créditos de Carbono.

Palavras-Chave: mudanças climáticas, energia renovável, energia solar, viabilidade econômica e financeira, análise de sensibilidade, análise de investimento, externalidades.

ABSTRACT

Currently, there is an increased investment in renewable energy projects in the world, seeking greater energy efficiency and global economic. International agreements to combat the effects of climate change and reduce CO₂ emissions are encouraging investments in this infrastructure sector, however, the downward trend in the cost of deployment of renewable energy projects is the main factor for the advancement of these energy sources. This research aims to demonstrate that developing countries have great potential for growth as well as present the current the investment scenario in renewable energy sources. Is Researched the regulation of solar energy Brazil's, the energy matrix, cost and national energy consumption. It is presented the incentives in the country and international success incentives that allow the insertion of photovoltaic solar energy on a large scale. It is researched the regulations in the solar energy in Brazil, the national energy consumption and the cost of the energy, and too, barriers of the insert of photovoltaic solar energy in Brazil. Is analyzed the economic and financial feasibility of implementing a Photovoltaic Generation Center in an industry located in Santa Catarina (Brazil) and it was analyzed the sensitivity of the profitability and of the viability of the investment under different scenarios, with the variation of the interest rate on the financing; of the exchange rate on the investment and of the tariff adjustment of electricity. The case study is feasible in all analysis methods applied; Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Profitability Index (IL) and Payback. the sensitivity analysis showed the limits of variables that viabilizariam investment, allowing an analysis under different economic scenarios. Is presented the relationship between the variables of this case study about of the current economic conditions and too an economic analysis about the externalities generated by the realization of the investment, compared with the non-renewable energy sources (coal, oil and derivatives, Natural Gas and Nuclear). There is a positive externality in the use of photovoltaic solar energy, demonstrated by the reduction of CO₂ emissions, represented in terms of the carbon credits.

Key-words: climate change, renewable energy, solar energy, economic and financial feasibility, sensibility analysis, investment analysis, externalities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: População Mundial por regiões (1950 a 2030).....	6
Figura 2: Evolução das emissões Globais de CO ₂	8
Figura 3: Evolução da Temperatura Global (1880 a 2010).....	9
Figura 4: Emissão de CO ₂ na atmosfera (g/kWh) por fonte de energia.	10
Figura 5: Consumo per Capita Mundial de Energia Elétrica em kWh.....	12
Figura 6: Exemplos de consumo per Capita de Energia Elétrica em kWh.	12
Figura 7: Investimento Mundial em Energias Renováveis.	14
Figura 8: Investimento Regional em Energias Renováveis.	15
Figura 9: Investimento: Estados Unidos, Brasil, Índia e China.	16
Figura 10: Evolução do Investimento por fontes de energia (2014 e 2015).	17
Figura 11: Capacidade instalada mundial em 2015.	18
Figura 12: Empregos gerados pelas Fontes de Energia Renovável.	20
Figura 13: Histórico de Preços e Curva de Aprendizagem (1979 a 2011).....	21
Figura 14: Preço referência do Watt-pico instalado de sistema solar fotovoltaico.	22
Figura 15: Evolução da Capacidade Instalada Mundial.....	23
Figura 16: Evolução da Capacidade Instalada 10 líderes mundiais.	24
Figura 17: Empresas Atuantes no Mercado de Energia Solar.....	25
Figura 18: Preços Médios de Leilões de geração, por fontes de energia.	31
Figura 19: Evolução do consumo de Energia Elétrica.	32
Figura 20: Esquema Elétrico para geração de energia fotovoltaica.	39
Figura 21: Sistema de Compensação de Energia para Geração Distribuída.	42
Figura 22: Painel Fotovoltaico	44
Figura 23: Inversor de Corrente Contínua para Corrente Alternada.....	44
Figura 24: Estruturas Metálicas.....	45
Figura 25: Análise de Sensibilidade com base na Taxa de Câmbio.....	65
Figura 26: Análise de Sensibilidade com base na Taxa de Juros.....	66
Figura 27: Análise de Sensibilidade com base no Reajuste da Tarifa de Energia Elétrica.....	68
Figura 28: Relação entre as variáveis econômicas.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais países geradores de empregos pelas Fontes de Energia Renovável.	19
Tabela 2: Comparativo Resolução 482/2015 e 687/2015 ANEEL.	28
Tabela 3: Matriz de Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica em 2015.	30
Tabela 4: Matriz de Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica em 2016.	30
Tabela 5: Contratações de energia solar de geração pública centralizada.	31
Tabela 6: Tarifas de Energia.	46
Tabela 7: Orçamento do Investimento Inicial	48
Tabela 8: Parcelas Anuais dos Financiamentos.	49
Tabela 9: Economia Prevista na Fatura de Energia Elétrica	60
Tabela 10: Fluxo de Caixa do Investimento	62
Tabela 11: Resultados da Análise Econômico-financeira	63
Tabela 12: Análise de Sensibilidade com base na Taxa de Câmbio	64
Tabela 13: Análise de Sensibilidade com base na Taxa de Juros.	66
Tabela 14: Análise de Sensibilidade com base no Reajuste da Tarifa de Energia Elétrica.	67
Tabela 15: Contribuição de Impostos pela realização do Investimento	70
Tabela 16: Redução Média de Poluição pelo uso da energia solar.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNEF	<i>Bloomberg New Energy Finance</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRDE	Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CGF	Central de Geração Fotovoltaica
COPOM	Comitê de Política Monetária
CSP	<i>Concentrating Solar Power</i>
DNDE	Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FINAME	Inovação e Máquinas e Equipamentos Eficientes
FV	Fotovoltaica
G-20	Grupo dos Top 20 da Economia
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GREENPEACE	Organização Global de Proteção ao Meio Ambiente (ONG)
IGPM	Índice Geral de Preços do Mercado
IL	Índice de Liquidez
IPCA	Índice Nacional de Preços do Consumidor Amplo
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IRENA	<i>The International Renewable Energy Agency</i>
ITC	<i>Investment Tax Credit</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PCH	Pequena Central Hidroelétrica
PEW	<i>Pew Charitable Trusts</i> (ONG)
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
REC	<i>Renewables Energy Certificates</i>
REN	<i>Renewable Energy Policy Network</i>
SEIA	<i>Solar Energy Industries Association</i>

SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SIN	Sistema Interligado Nacional
TE	Tarifa de Energia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão
UE	União Europeia
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 TEMA E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo Geral.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 JUSTIFICATIVA	3
1.4 METODOLOGIA.....	3
1.4.1 Organização do trabalho.....	4
2 REVOLUÇÃO ENERGÉTICA E DESENVOLVIMENTO LIMPO.....	6
2.1 CRESCIMENTO ECONÔMICO MUNDIAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	6
2.2 INVESTIMENTO MUNDIAL EM ENERGIAS RENOVÁVEIS	13
2.2.1 Mercado de Energias Renováveis e geração de empregos	17
2.2.2 Evolução do custo da Energia Solar	20
2.2.3 Tendências no Mercado de Energias Renováveis	24
3 MERCADO ENERGÉTICO NACIONAL	26
3.1 REGULAÇÃO DA ENERGIA SOLAR	26
3.2 MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA NACIONAL, CUSTO E CONSUMO POR FONTE DE ENERGIA	29
3.2.1 Matriz de Energia Elétrica e Capacidade Instalada	29
3.2.2 Preço Médio por tipo de energia no Brasil.....	31
3.2.3 Consumo de Energia no Brasil	32
3.3 INSERÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM LARGA ESCALA NO BRASIL	33
3.3.1 Programas de Incentivos e possíveis falhas	33
3.3.2 Ampliação do Mercado de Energia Solar Fotovoltaica no Brasil baseado em incentivos do mercado internacional	34
4 DECISÃO DE INVESTIMENTO EM ENERGIA SOLAR: ESTUDO DE CASO.....	38
4.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	38
4.1.1 Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.....	38
4.1.2 Tarifas de Energia	39

4.1.3 Apresentação do Estudo de Caso	42
4.1.4 Premissas para Cálculo da Geração de Energia	45
4.1.5 Premissas Econômicas.....	46
4.2 CONCEITOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO	49
4.2.1 Análise Financeira	50
4.2.2 Análise Econômica.....	52
4.2.2.1 Métodos de Análise de Investimentos	52
4.2.2.2 Custos do Investimento	55
4.2.2.3 Riscos do Investimento.....	56
4.2.2.4 Fluxo de Caixa.....	56
4.2.2.5. Outros fatores a se considerar.....	57
5 APLICAÇÃO DA ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA: ESTUDO DE CASO ..	59
5.1 ANÁLISE FINANCEIRA.....	59
5.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	63
5.2.1 Variação da Taxa de Câmbio	63
5.2.2 Variação da Taxa de Juros	65
5.2.3 Variação do Reajuste das Tarifas de Energia Elétrica	67
5.3 ANÁLISE ECONÔMICA E EXTERNALIDADES	69
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
REFERÊNCIAS.....	75
APÊNDICE	78

1 INTRODUÇÃO

Desenvolvimento sustentável e Fontes Renováveis de Energia (FRE) são temas que têm repercutido no cenário global e que estão contribuindo para uma maior consciência quanto à necessidade da preservação dos recursos naturais do planeta. É de fundamental importância o planejamento do uso dos recursos energéticos e da geração de energia elétrica, de modo que estes recursos sejam alocados de maneira eficiente, evitando sua escassez. Desenvolvimento sustentável advém de um processo de avaliação e reavaliação das relações entre a sociedade e o meio ambiente, ao longo do tempo.

Após a Revolução Industrial o consumo de energia triplicou e este aumento da demanda energética, associado com a redução da oferta de combustíveis convencionais e com a preocupação de se preservar o meio ambiente mobilizou a comunidade científica a pesquisar e desenvolver fontes de energia renováveis e com menor impacto ambiental, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006).

Contudo, para que o investidor possa produzir energias renováveis, deve ter certeza de que este tipo de empreendimento lhe proporcione rentabilidade, por isso é de grande importância a realização de um estudo aprofundado envolvendo as variáveis do mercado para definir a tomada de decisão mais coerente e precisa.

A questão ambiental é muito importante para o avanço das fontes renováveis, entretanto, o fator que mais contribui atualmente para este avanço é o custo de produção, uma vez que o custo de produção de energia elétrica por fontes renováveis tais como eólica e solar está cada vez menor, podendo assim competir com as fontes convencionais não renováveis como o Petróleo e seus derivados.

1.1 TEMA E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Considerando-se a necessidade de redução de custos com energia elétrica no setor industrial e devido à possibilidade de novas crises energéticas no Brasil, é de grande importância a realização de investimentos em energia solar fotovoltaica. Estes investimentos podem auxiliar na redução do risco de escassez de energia, consequentemente auxiliam para que ocorra a contínua produção industrial, garantindo ganhos competitivos no mercado de determinada indústria.

Segundo Miranda (2013), o Brasil tem grande potencial para investimentos em energia solar fotovoltaica por ter um grande território e favoráveis índices de radiação solar.

Este tipo de energia gera autossuficiência e baixo impacto ambiental comparando-se com as outras fontes de energia, o que é de fundamental importância para o desenvolvimento sustentável do país. Investimentos em energia solar, além de promoverem benefícios privados, gerariam uma cadeia de valores que promoveriam o benefício social, como por exemplo a geração de novos empregos pelo desenvolvimento deste setor de infraestrutura, a ampliação da distribuição de energia elétrica, o desenvolvimento das nações que ainda estão em ascensão e também a redução da poluição ambiental.

Diante do exposto, a implantação de uma Central de Geração Fotovoltaica (CGF) em uma empresa industrial localizada no oeste de Santa Catarina é viável econômica e financeiramente?

Verificando-se a viabilidade do investimento, acredita-se que por meio da implantação do projeto de geração de energia é possível haver o benefício privado por meio da redução de custos na produção, por reduzir o uso da energia convencional da rede elétrica da concessionária e também há a geração de externalidades positivas promovendo ganhos ou benefícios sociais, como a geração de emprego para a implantação da Central de Geração Fotovoltaica bem como os menores índices de poluição gerada por este tipo de energia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade econômico-financeira e a sensibilidade da rentabilidade financeira da implantação de uma Central de Geração Fotovoltaica com potência instalada de 198 kW em uma empresa industrial localizada no oeste do Estado de Santa Catarina, Brasil e analisar as externalidades geradas por este investimento.

1.2.2 Objetivos Específicos

Apresentar o cenário mundial atual de investimentos em fontes alternativas de energias renováveis;

Apresentar a regulação do setor de energia solar para o Brasil, a matriz energética Nacional, programas de incentivos existentes no país e os incentivos internacionais de sucesso, que favorecem a inserção da energia solar fotovoltaica em larga escala;

Analisar a viabilidade econômica e financeira da implantação de uma Central de Geração Fotovoltaica em Santa Catarina, Brasil, bem como realizar uma análise de sensibilidade do retorno financeiro diante de diferentes cenários, com a variação: da taxa de juros da parcela financiável; da taxa de câmbio sobre os insumos do projeto e do reajuste tarifário de energia elétrica sobre o consumo de energia. Analisar também as externalidades geradas pela realização deste investimento.

1.3 JUSTIFICATIVA

O crescimento econômico e o desenvolvimento industrial podem ser comprometidos tanto pela falta de energia quanto pelo aumento das tarifas de energia, o que geraria prejuízos ou até mesmo elevação de custos para determinada indústria.

A necessidade de reduzir os custos industriais muitas vezes leva o empreendedor a buscar alternativas de geração de energia, como por exemplo a implantação de um sistema de energia solar, sistema este que pode trazer vantagens competitivas devido à melhor situação financeira que poderá proporcionar à empresa, permitindo ampliação no mercado.

Visto a importância ambiental que as fontes de energia renováveis desempenham na atualidade, incentivos em financiamentos, como taxas de juros menores contribuiriam para a existência de externalidades positivas. Isto poderia ser instrumento de políticas que promovessem o desenvolvimento sustentável, beneficiando o investidor e também a sociedade, uma vez que por meio de subsídios o valor social se torna maior que o valor privado (MANKIW, 2009).

1.4 METODOLOGIA

Esta pesquisa é aplicada ao estudo de caso da implantação de uma CGF em uma indústria em Santa Catarina com potência instalada de 198 kW, que se encontra na faixa de potência instalada entre 75 kW e 5.000 kW, apresentada pela resolução 687 de novembro de 2015, que

atualizou a resolução 482 de dezembro de 2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015).

Esta faixa permite ao consumidor da rede de distribuição se beneficiar do sistema de compensação¹ de energia elétrica para sistemas de micro e minigeração distribuída (MIRANDA, 2013).

No intuito de atingir alguns dos objetivos específicos, será utilizado o método qualitativo, baseado em pesquisa exploratória a respeito de diversos temas, tais como: cenário mundial atual de Investimento em energias renováveis; a regulação do setor de energia solar do Brasil e matriz energética nacional e barreiras existentes à inserção em larga escala da energia solar fotovoltaica no Brasil.

No intuito de demonstrar o objetivo geral da pesquisa, o método a ser aplicado é quantitativo, por meio de demonstração de resultados quantificados por meio da análise de dados.

Quanto à análise financeira, será calculado o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o índice de Liquidez (IL) e o *Payback*, visando verificar a viabilidade do investimento.

Quanto à análise econômica, será calculada a economia na fatura de energia elétrica que a indústria obterá ao longo dos anos, devido à produção de parte da energia por meio dos painéis solares. Será realizada também uma análise de sensibilidade da rentabilidade do projeto em relação à taxa de juros do financiamento, em relação ao dólar para compra dos equipamentos e também em relação às tarifas de energia, de acordo com as previsões de mercado.

Contudo, não se deve esquecer que às vezes o conhecimento científico é falível, ou seja, o conhecimento não é absoluto pois a todo momento podem surgir novas proposições e novas técnicas para reformular pesquisas existentes (MARCONI; LAKATOS, 2007).

Desta forma, é de grande importância salientar que a viabilidade do investimento de uma CGF nesta pesquisa aplica-se somente ao estudo de caso analisado e sob as atuais condições de regulamentações pela ANEEL.

1.4.1 Organização do trabalho

¹ Sistema de compensação de energia elétrica: é um sistema em que a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de um empréstimo gratuito à distribuidora local e posteriormente é compensada com consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2015)

Este trabalho será composto por seis capítulos.

O primeiro capítulo aborda a apresentação do tema e problema de pesquisa, objetivos a serem alcançados, justificativa que motivou o desenvolvimento da pesquisa e a metodologia adotada.

O segundo capítulo aborda a revolução energética e o desenvolvimento limpo, e apresenta o atual cenário mundial de investimentos em fontes alternativas de energias renováveis e as tendências do mercado de energia renovável.

O terceiro capítulo descreve a regulação na área de energia solar no Brasil, apresenta a capacidade instalada da matriz energética nacional, o custo e o consumo de energia por setor e descreve os programas de incentivo existentes no país e os incentivos internacionais de sucesso, que contribuem para a inserção da energia solar fotovoltaica em larga escala.

O quarto capítulo apresenta o sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica, as premissas para geração de energia e as premissas econômicas para a realização do estudo de caso. Apresenta também o referencial teórico para que possa ser realizada a análise de investimento.

O quinto capítulo apresenta a análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de uma CGF em uma indústria em Santa Catarina e a análise de sensibilidade sob variação dos principais fatores que influenciam na rentabilidade financeira do investimento. Neste capítulo analisam-se também as externalidades geradas pela realização do investimento.

O sexto capítulo apresenta as principais conclusões da pesquisa realizada, e sugestões para pesquisas posteriores.

2 REVOLUÇÃO ENERGÉTICA E DESENVOLVIMENTO LIMPO

Este capítulo tem por objetivo apresentar o cenário atual sobre crescimento econômico mundial e desenvolvimento sustentável, bem como apresentar o cenário de Investimento em fontes de energia não renováveis.

2.1 CRESCIMENTO ECONÔMICO MUNDIAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial em 2015 situa-se em 7,3 bilhões de pessoas e é projetada, com um intervalo de confiança de 95%, para 8,5 bilhões em 2030, conforme figura 1 abaixo. É importante que cada país entenda suas específicas dinâmicas demográficas para poderem planejar e desenvolver suas políticas, identificando áreas e programas que possam oportunizar e acelerar o progresso e o desenvolvimento sustentável.

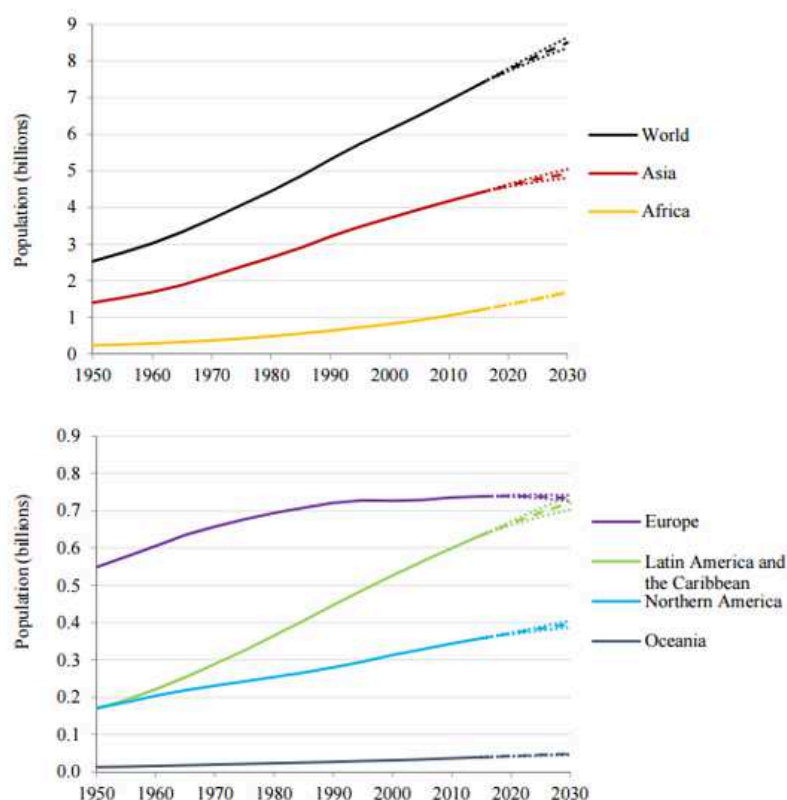


Figura 1: População Mundial por regiões (1950 a 2030).

Fonte: ONU, 2015.

Percebe-se uma grande concentração do crescimento populacional nas regiões em desenvolvimento (Ásia e África), sendo um grande desafio para os países destas regiões poderem atingir o progresso no desenvolvimento, incluindo as metas acordadas internacionalmente pela Declaração do Milênio das Nações Unidas, no sentido de reduzir a pobreza e promover o desenvolvimento sustentável, este que baseia-se em três pilares: o desenvolvimento econômico, social e ambiental, de modo que eles se complementem e atinjam um equilíbrio (ONU, 2015).

O fato de a população estar aumentando vêm alertando muitos ambientalistas, que discutem sobre a interferência da atividade humana no meio ambiente. Segundo estes ambientalistas, a queima de combustíveis fósseis para geração de energia faz com que aumente a quantidade de gases do efeito estufa na atmosfera e eleve a temperatura global.

Dentre os gases produzidos pela ação do homem na natureza está o dióxido de carbono (CO_2); produzido pelo uso de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás) e pelas queimadas; o Metano (CH_4) produzido pelas práticas agrícolas, animais e aterros sanitários; e também o Óxido Nitroso (N_2O), resultante principalmente de substâncias químicas industriais (GREENPEACE, 2013).

As discussões têm sido alarmistas quanto aos impactos do aumento da temperatura global, podendo-se citar, segundo o GREENPEACE (2013), o derretimento de gelo das calotas polares, a elevação do nível do mar, destruição de ecossistemas marinhos (recifes de corais), tempestades, ondas de calor e secas.

Segundo a Academia Nacional de Ciência dos Estados Unidos, em 1960 Carl Sagan desenvolveu em sua tese de Doutorado um modelo que explicou a alta temperatura da superfície de Vênus como consequência do “efeito estufa” de uma espessa atmosfera de CO_2 e vapor d’água, descrevendo como um planeta com condições iniciais semelhantes aos da Terra evoluiu para um estado tão extremo. O método científico teórico da tese de Doutorado de Carl Sagan, em 1960 não convenceu a muitos de que a temperatura de Vênus era cerca de 800°F , porém em 1968 uma nave espacial Soviética entrou na atmosfera de Vênus e antes de seu derretimento conseguiu retornar dados da superfície planetária, com médias de temperaturas de 900°F .

Contudo, vale destacar que as condições de pressão em Vênus são bem diferentes do que as condições de pressão da Terra. Sagan (1973) afirmou que a Terra, diferente de Vênus, concentra uma vasta quantidade de CO_2 em rochas e nos mares, não concentrando tanto CO_2 em sua atmosfera, e mantendo, até hoje, condições habitáveis.

Segundo a Organização das Nações Unidas (2015), até o ano 2.000 a população mundial duplicou, passando de 3,0 bilhões para 6,1 bilhões e a emissão de CO₂ quase triplicou, passando de 9,4 bilhões de toneladas para 24,8 bilhões de toneladas.

De acordo com a NASA (2015), o aumento da temperatura do planeta está relacionado com as emissões acumuladas de CO₂ na atmosfera. Na figura 2 a seguir, pode-se observar uma relação entre uma série de emissões de CO₂ acumulado e níveis elevados de aquecimento global. Até 1950 o nível de emissões de CO₂ variava entre 180 a 300 ppm (partes por milhão), contudo, a partir desta data o nível de emissões passou a aumentar consideravelmente, chegando a 402,56 ppm em dezembro de 2015, um nível preocupante e nunca antes ocorrido.

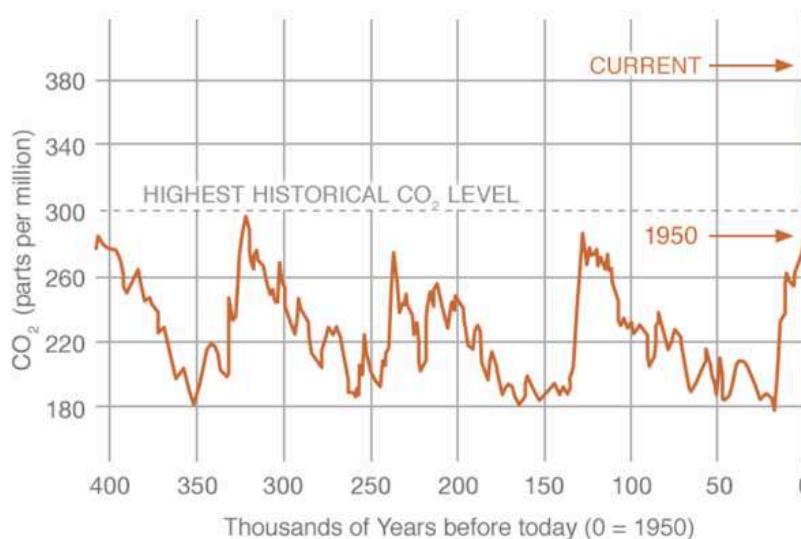


Figura 2: Evolução das emissões Globais de CO₂.

Fonte: NASA, 2015.

A figura 3 a seguir, demonstra dados de temperatura de quatro instituições científicas internacionais. Todas estas instituições mostram um rápido aquecimento nas últimas décadas e sobretudo que a última década foi a mais quente já registrada. Vale destacar que a temperatura da terra se elevou por mais de 1° Celsius considerando o período de 1900 até 2010 e para o período de 1960 até 2010 se elevou em mais de 0,5° Celsius (NASA, 2015).

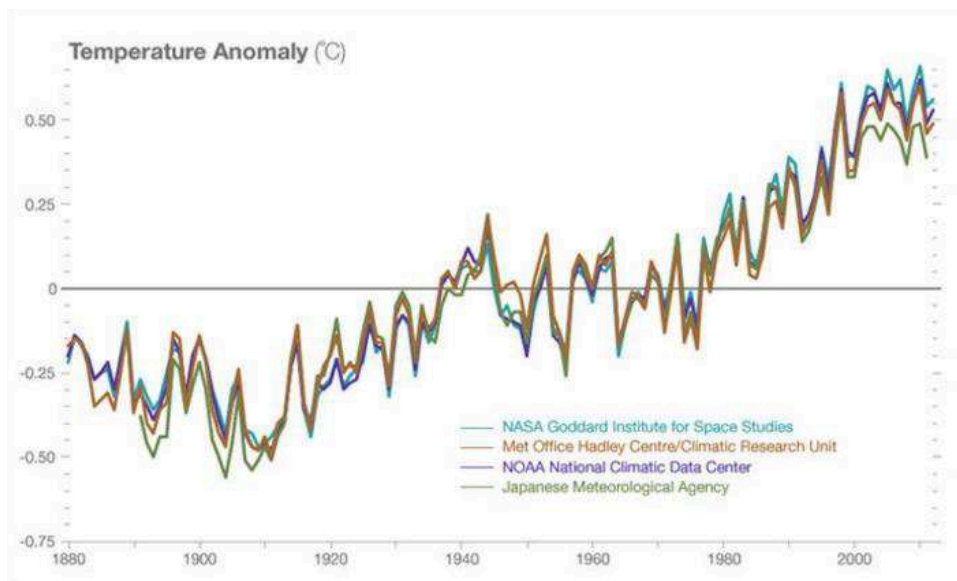


Figura 3: Evolução da Temperatura Global (1880 a 2010).

Fonte: NASA, 2015.

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) afirmou que a temperatura média global pode aumentar cerca de $6,4^{\circ}\text{C}$ até o fim do século. Cientistas estabeleceram um patamar máximo de subida da temperatura média global em 2°C até o fim do século com a presença de uma política climática que vise reduzir drasticamente as emissões para evitar um aumento de temperatura superior a esse valor (GREENPEACE, 2013).

O ciclo de vida das emissões que contribuem para o aquecimento global associados com energia renovável são mínimos, comparados com as fontes de energias não renováveis, conforme figura 4 a seguir. Vale destacar que na produção de Bioenergia, esta proporciona que emissões sejam evitadas, sem a remoção de gases do efeito estufa, em inglês “*Greenhouse Gas Emissions*” da atmosfera. Foi realizada a captura e armazenamento de carbono (*Carbon Capture and Storage – CCS*) para verificar os índices de emissão de CO_2 da Bioenergia, do Gás Natural e do Carvão, dados estes apresentados em gramas por kWh de cada tipo de energia (IPCC, 2012).

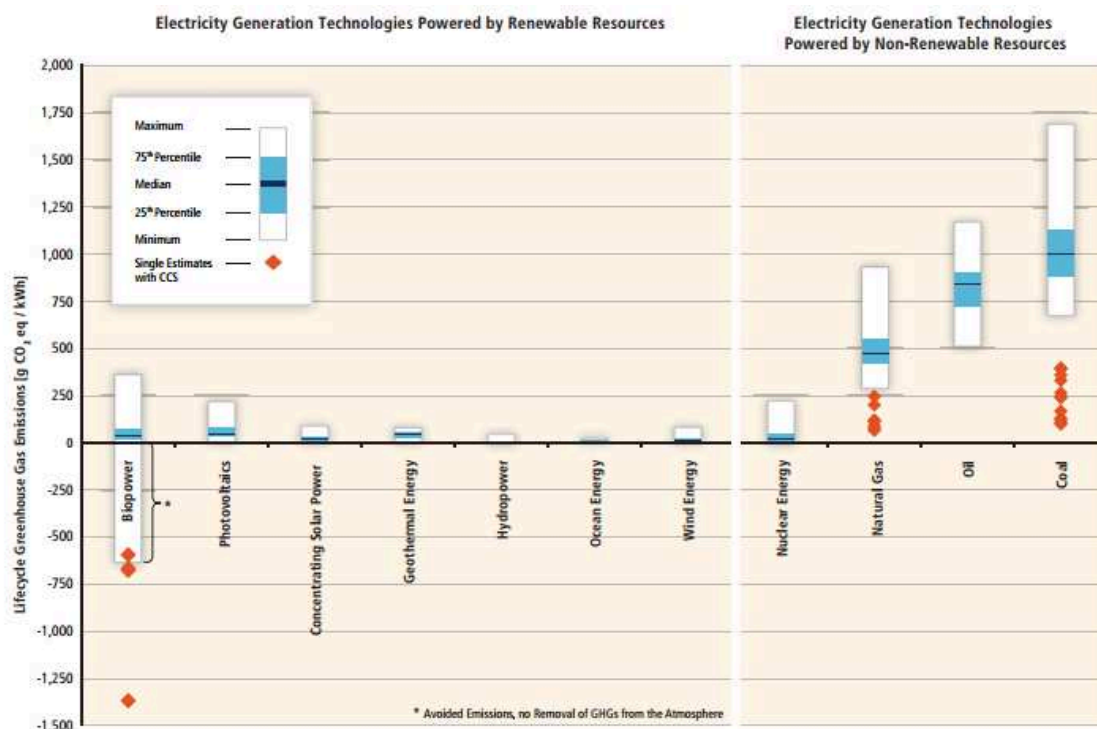


Figura 4: Emissão de CO₂ na atmosfera (g/kWh) por fonte de energia.

Fonte: IPCC, 2012.

De acordo com o GREENPEACE (2013), o Protocolo de Kyoto foi aprovado em 1997, mas entrou em vigor apenas em 2005 e o desenvolvimento do acordo foi regularmente negociado entre seus 193 membros. Em 2009, quando os países se reuniram em Copenhague, não chegaram a acordos ambiciosos na redução das emissões de gases de efeito estufa. No entanto, alguns países apresentaram metas de redução de emissões voluntárias para 2020. Em 2012, em Doha, os chefes de Estado decidiram que um novo acordo sobre cortes de emissões pós-2020 seria negociado até 2015. Para o Brasil, políticas de combate ao desmatamento na Amazônia possibilitaram o país cumprir cerca de dois terços de sua meta voluntária de redução de emissões de gases de efeito estufa.

Entretanto, há controvérsias a respeito das mudanças climáticas, uma vez que outros cientistas associam o aumento da temperatura terrestre com a maior incidência de irradiação solar, que podem ocorrer de tempos em tempos e são conhecidos como Eras interglaciais.

Segundo Petit et al. (1999) apud Molion (2008), avaliando-se os quatro picos de temperatura nos últimos 420 mil anos, que representam os interglaciais passados, os quais duraram cerca de 10 a 12 mil anos, e comparando-os com a concentração de CO₂ na atmosfera, obtidas dos cilindros de gelo da Estação Vostok, na Antártida, as temperaturas dos interglaciais passados foram maiores do que o presente interglacial e a concentração de CO₂ foi menor.

Segundo Zbigniew Jaworowski (2007) apud Molion (2008), a metodologia de leitura do CO₂ pelos cilindros de gelo com mais de 1000 anos tende a reduzir concentrações em torno de 30% a 50%, por vários motivos, uma vez que podem ocorrer reações químicas, como difusão do ar nas bolhas que estão armazenadas em camadas profundas, submetidas à alta pressão, portanto, não é muito coerente analisar estes dados de mais de 1000 anos com os dados atuais de CO₂ coletados por instrumentos.

Em 2007, o biólogo Ernest Beck catalogou mais de 90 mil medições de CO₂ no hemisfério Norte, obtidas entre 1812 e 2004, em mais de 43 estações. Nesta pesquisa, ele observou que a concentração de CO₂ ultrapassou 379 ppm várias vezes no século passado, principalmente no período de 1940 a 1942, antes do início da medição em Mauna Loa, em 1957, série usada pelo IPCC (MOLION, 2008).

Além disso, de acordo com Caillon (2003) apud Molion (2008), há evidências de que a temperatura do ar tenha aumentado antes do aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, contradizendo o que os ambientalistas afirmam atualmente, de que o aumento do CO₂ gerado pelas atividades humanas levaria a um aumento da temperatura global, alterando o clima.

Avaliando-se as duas linhas de pesquisa, é muito difícil compreender se estamos em uma era interglacial ou se realmente estão ocorrendo mudanças climáticas. Todavia, independente de qual das teorias estiver correta, é de grande importância proteger e realocar os recursos do Planeta de maneira eficiente, para que as nações em ascensão econômica e outras menos desenvolvidas possam continuar crescendo sustentavelmente.

Tratando-se do desenvolvimento econômico das nações, vale destacar que de acordo com estatísticas do Banco Mundial, o *International Bank for Reconstruction and Development* (IBRD), há uma grande diferença de consumo de energia elétrica per capita entre os países desenvolvidos e as outras nações, como pode ser observado na figura 5 a seguir. Considerando o ano 2013, nações desenvolvidas chegaram a consumir até 54.800 kWh per capita, enquanto que as outras nações ainda em desenvolvimento consumiram menos que 2.600 kWh per capita².

² Dados do Banco Mundial acessado em:

http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC/countries/1W-BR-RU-US-CA-NO?order=wbapi_data_value_2013%20wbapi_data_value%20wbapi_data_value-last&sort=asc&display=map

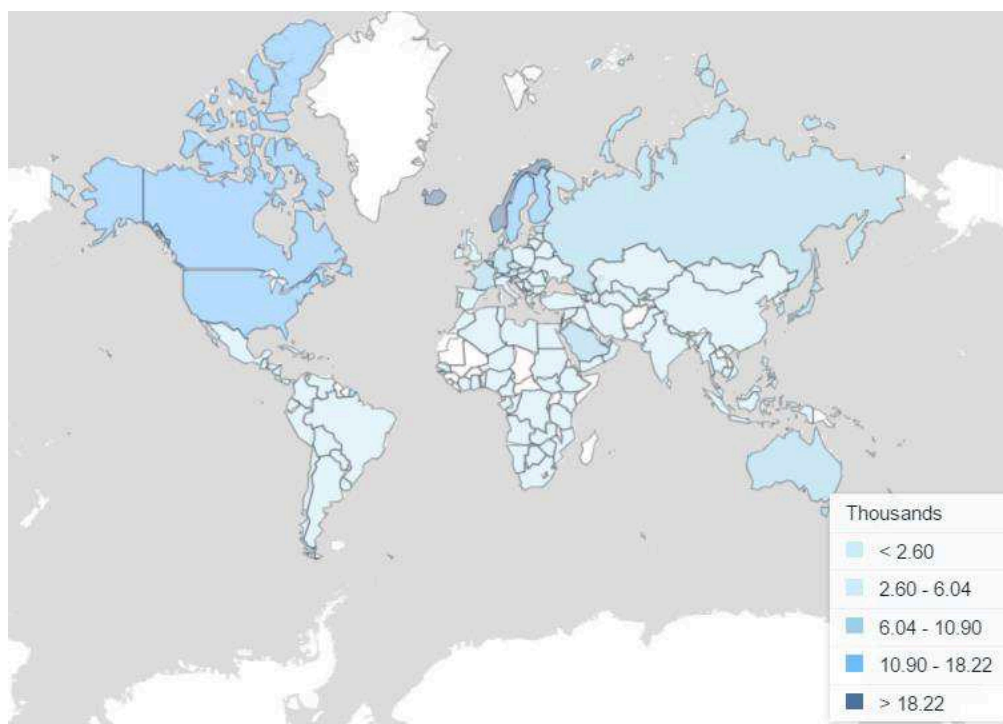


Figura 5: Consumo per Capita Mundial de Energia Elétrica em kWh.

Fonte: Banco Mundial, 2016.

Na figura 06 a seguir, pode-se observar os valores de consumo per capita de energia elétrica (kWh) de alguns países³. Vale destacar que nos países desenvolvidos o consumo de energia elétrica em kWh por habitante é maior que nos desenvolvidos.

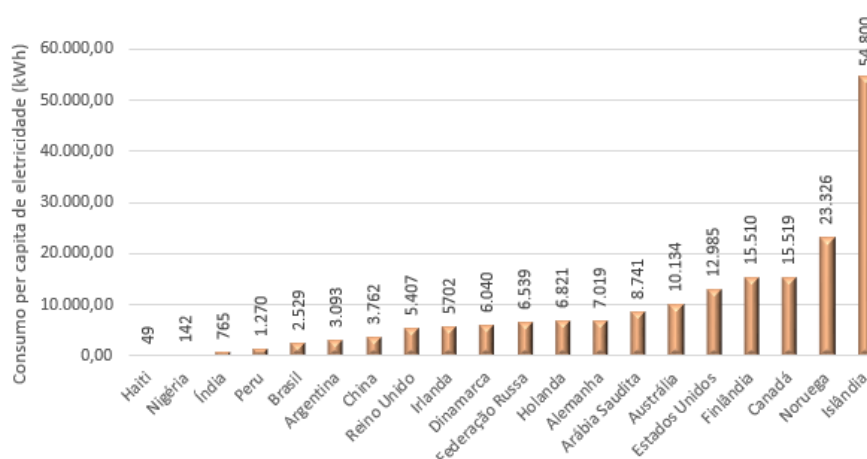


Figura 6: Exemplos de consumo per Capita de Energia Elétrica em kWh.

Fonte: Autor, dados do Banco Mundial, 2016.

³ Dados referentes ao ano de 2013.

Isso reflete que há um grande potencial de crescimento da indústria de energia elétrica nos países que ainda estão em desenvolvimento. O desenvolvimento de indústrias de geração de energia renovável promoveria o desenvolvimento econômico, social e ambiental nestes países menos desenvolvidos ou que ainda estão em desenvolvimento.

2.2 INVESTIMENTO MUNDIAL EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

No período de 2011 a 2013 o nível de investimento mundial em energia limpa teve uma redução. O investimento público e privado em energia solar, eólica e outras tecnologias reduziu 9% em 2012 e 11% em 2013, fazendo com que o investimento global em 2013 diminuísse em um quinto em relação à 2011 (PEW, 2014).

O nível de investimento em energia limpa da China tem crescido cerca de 18% ao ano, de 2009 a 2013. Com o crescimento de mercados internos e metas nacionais para investimento em energias renováveis, a China está preparada para ser líder mundial no mercado de energia limpa por muitos anos (PEW, 2014).

Segundo o Relatório PEW (2014), a China foi o país que mais investiu em energias renováveis em 2013, sendo responsável por 29% do investimento total do grupo de países do G-20. Em segunda posição ficou os Estados Unidos e em terceira posição o Japão, países estes que investem consideravelmente em energia solar, setor este que passou a liderar os investimentos em energias renováveis a partir de 2010.

Em 2013, investimentos em energia limpa aumentaram em apenas três países do G-20⁴: Japão, Canadá e Reino Unido. A redução de investimentos de 2011 a 2013 pode ser reflexo da redução de incentivos de investimento em energia limpa devido às medidas de austeridade fiscal que os governos dos países da Europa implantaram durante a crise de 2011, causada pelo endividamento público elevado de algumas nações da União Europeia (PEW, 2014).

Os dados apresentados pelo PEW (2014) foram compilados pela *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF), uma empresa de pesquisa líder de mercado com uma rede global de analistas

⁴ G-20: foi criado em 1999 para reunir países industrializados e em desenvolvimento com o objetivo de discutir questões econômicas globais. O G-20 é composto pelos ministros das finanças e governadores dos Bancos Centrais que representam a União Europeia e 19 países: Alemanha, Argentina, Arábia Saudita, África do Sul, Austrália, Brasil, Canadá, China, Coreia do Sul, Estados Unidos, França, Índia, Indonésia, Itália, Japão, México, Reino Unido, Rússia e Turquia.

que fornecem dados e notícias sobre a transformação do setor de energia. A *Bloomberg New Energy Finance* possui um banco de dados⁵ baseado na energia limpa e empresas de tecnologia em energia, instalações de produção, projetos de geração e acordos financeiros que são organizados de acordo com o tipo de transação (PEW, 2014).

De acordo com estimativas da *Bloomberg New Energy Finance*, em 2015 o Investimento Global em Energias Renováveis⁶ foi de USD285,9 bilhões, aumentando 5% em relação à 2014 e assim ultrapassando o recorde anterior de R\$278,5 bilhões realizados em 2011, conforme pode ser observado na figura 7 a seguir, a qual demonstra o total de investimentos mundiais realizados de 2005 a 2015, o investimento realizado pelas nações desenvolvidas, o investimento realizado pelas nações em desenvolvimento e o investimento somado, realizado pela China, Índia e Brasil, países estes que têm investido fortemente no matriz energética Renovável (REN, 2016).

Os efeitos das crises econômicas são visíveis e impactam em uma redução do investimento, como pode ser observado no gráfico no ano de 2009, em decorrência da crise de 2008, com a falência de instituições financeiras nos Estados Unidos e Europa, e também em 2012 e 2013, como consequência da crise financeira da Grécia e Europa.

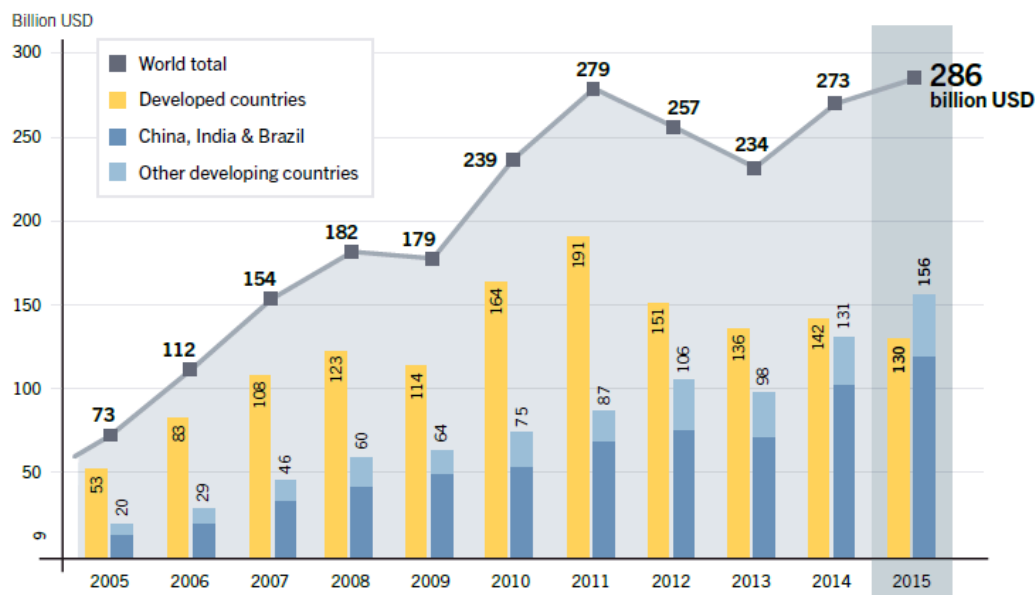


Figura 7: Investimento Mundial em Energias Renováveis.

Fonte: REN, 2016.

⁵ O banco de dados da Bloomberg New Energy Finance Desktop está disponível por meio de assinatura e pode ser acessado no www.bnef.com (acessado em outubro de 2015).

⁶ Esta estimativa não inclui Investimentos em projetos hidroelétricos > 50 MW (REN, 2016).

Em 2015 o investimento em energias renováveis em países em desenvolvimento ultrapassou o investimento nas economias desenvolvidas. Conforme figura 8 a seguir, em 2015 o investimento em energia renovável aumentou significativamente na Ásia e Pacífico, principalmente devido à China, que investiu USD102,9 bilhões, aumentando 17% e representando 36% do total de investimentos no mundo. Na África e na América o investimento apresenta crescimento nos últimos anos. A China, Índia e Brasil totalizaram USD156 bilhões de investimento em 2015, aumentando 14% em relação ao ano anterior. A Europa, por sua vez, apresentou uma redução nos investimentos no último ano (REN, 2016).



Figura 8: Investimento Regional em Energias Renováveis.

Fonte: Autor, dados do REN, 2016.

Conforme abordado em 2.1, com base nas figuras 5 e 6, e de acordo com o REN (2016), o crescimento do investimento nos países em desenvolvimento e economias emergentes ocorre pelo crescente aumento na demanda por eletricidade, necessitando de uma capacidade de geração adicional de energia.

A redução dos custos das tecnologias de energias renováveis, principalmente da eólica e solar, viabilizam investimentos nas economias emergentes. As tendências apontam um aumento dos investimentos na China, Índia, África, Oriente Médio e Estados Unidos e uma redução do

investimento na Europa e Canadá. Dos 10 países que mais investiram em energias renováveis em 2015, seis são economias em desenvolvimento e quatro países desenvolvidos (REN 2016).

A China foi líder mundial, com mais do que o dobro de investimentos dos Estados Unidos, que ocupou a segunda posição, seguidos pelo Japão, Reino Unido, Índia, Alemanha, Brasil, África do Sul, México e Chile. Estados Unidos e Japão mantiveram suas posições relativas à 2014, África, México e Chile tiveram um aumento no investimento, podendo fazer parte da lista dos 10 maiores investidores (REN 2016).

Na figura 9 a seguir pode-se observar o total de investimento nos Estados Unidos, Brasil, Índia e China, bem como a tendência destes investimentos, que têm crescido fortemente na China, principal investidor da região asiática e também no mundo.

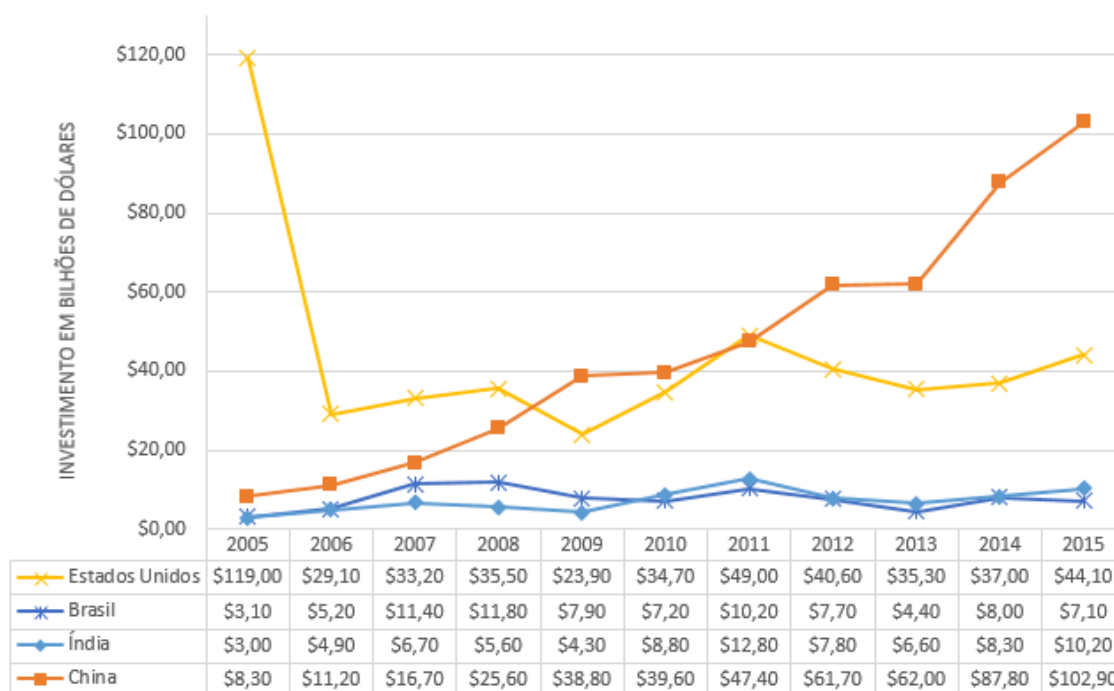


Figura 9: Investimento: Estados Unidos, Brasil, Índia e China.

Fonte: Autor, dados do REN, 2016.

Conforme figura 10 a seguir, a energia solar foi o principal setor de investimentos em 2015, crescendo 12% em relação ao ano anterior e representando USD161 bilhões, ou mais de 56% do investimento total em energia renovável e combustíveis.

A energia eólica apresentou um crescimento nos investimentos de 4% em relação ao ano anterior, com um total de investimentos de USD109,6 bilhões, ou 38,3% do total dos investimentos.

As demais fontes de energia renovável apresentadas na tabela 10 apresentaram uma redução nos investimentos em 2015, comparando-se com o ano de 2014, a biomassa reduziu 42%, biocombustíveis reduziram 35%, hidrelétrica em pequena escala reduziu 29%, geotérmica reduziu 23% e energia dos oceanos reduziu em 42%.

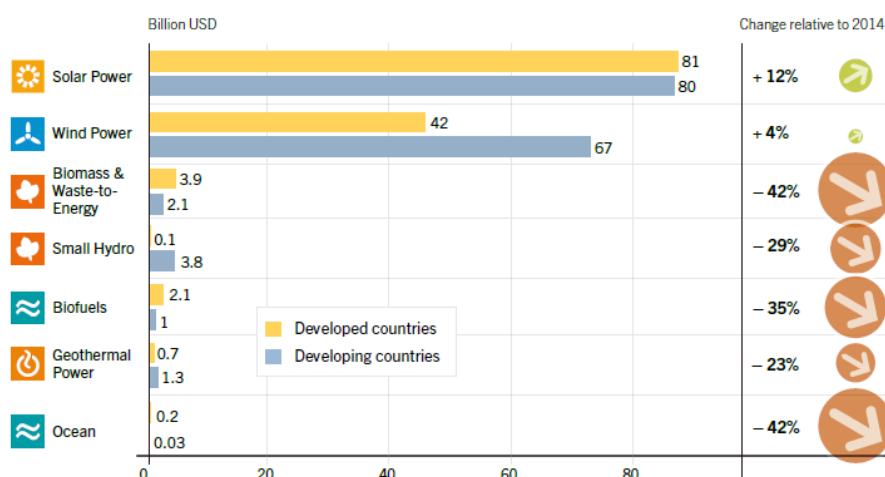


Figura 10: Evolução do Investimento por fontes de energia (2014 e 2015).

Fonte: REN, 2016.

2.2.1 Mercado de Energias Renováveis e geração de empregos

Segundo o Renewable Energy Policy Network, estima-se que em 2015, do total de produção mundial de eletricidade, cerca de 76,3% provém de fontes de energia não renováveis e cerca de 23,7% provém de energia renovável, sendo este percentual composto de: hidroelétricas (16,6%), eólica (3,7%), bioenergia (2%), solar fotovoltaica (1,2%) e geotérmica e outros (0,4%) (REN, 2016).

A capacidade instalada mundial em 2015 foi de 785 Gigawatts, conforme figura 11 a seguir. Deste total, a União Europeia possui capacidade instalada de 276 GW e os BRICS⁷ 262 GW. Os líderes mundiais em capacidade instalada total foram: China (199 GW), Estados Unidos (122 GW), Alemanha (92 GW), Japão (43 GW), Índia (36 GW), Itália (33 GW) e Espanha (32 GW).

⁷ BRICS: Grupo formado pelo Brasil, Rússia, Índia e China, que juntos representam parcela significativa do produto e da população mundial.

http://brics.itamaraty.gov.br/pt_br/sobre-o-brics/informacao-sobre-o-brics

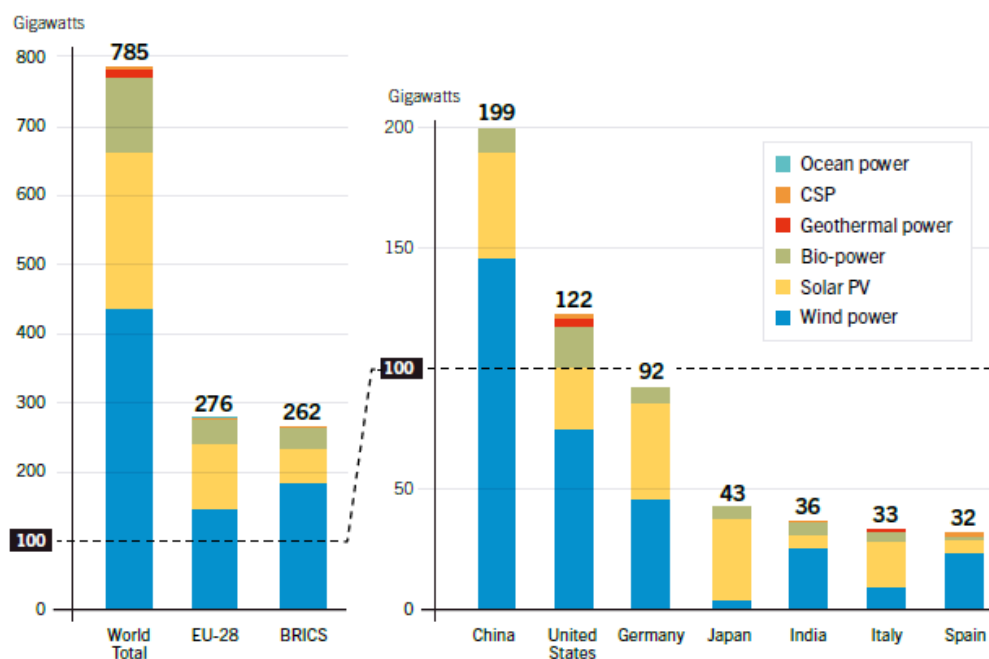


Figura 11: Capacidade instalada mundial em 2015.

Fonte: REN, 2016.

Analisando-se a capacidade instalada mundial da energia solar fotovoltaica em 2015, os líderes mundiais foram: China, Alemanha, Japão, Estados Unidos e Itália. Quanto à capacidade instalada per capita, a liderança ficou para Alemanha, Itália, Bélgica, Japão e Grécia, nações desenvolvidas (REN, 2016).

A geração de empregos no sector das energias renováveis aumentou 5% em 2015, com uma estimativa de 8,1 milhões de empregos (diretos e indiretos), estimado pelo IRENA, conforme tabela 1 a seguir. O crescimento da geração de empregos totais no mundo em 2015 continuou crescendo na área de energias renováveis, sendo os setores de maior geração de empregos o Solar Fotovoltaico e Biocombustíveis. Vale destacar que em “outras” fontes de energia estão incluídas: Biomassa, Geotérmica e Solar CSP.

Tabela 1: Principais países geradores de empregos pelas Fontes de Energia Renovável.

Fontes Energia	Mundo	China	Brasil	Estados Unidos	Índia	Japão	Bangladesh	Alemanha	França	Resto da EU
Solar Fotovoltaica	2.772	1.652	4	194	103	377	127	38	21	84
Biocombustíveis	1.678	71	821	277	35	3	0	23	35	47
Eólica	1.081	507	41	88	48	5	0	149	20	162
Biogás	382	209	41	.	85	0	9	48	48	14
Hidroelétrica	204	100	12	8	12	0	5	12	4	31
Outras	1.935	984	0	202	133	3	0	85	42	306
TOTAL	8.052	3.523	918	769	416	388	141	355	170	644

Fonte: Autor, dados do REN, 2016.

O número de postos de trabalho no setor Solar Fotovoltaico em 2015 cresceu 11% em relação ao ano de 2014, sendo a China líder mundial, com um total de 1,7 milhão de empregos, seguida do Japão e Estados Unidos. Segundo o REN (2016), no Brasil, regras em financiamentos estimulam o setor contribuem para o aumento da geração de emprego.

No setor de biocombustíveis, os empregos diminuíram em 2015, cerca de 6% em relação à 2014, devido à mecanização crescente em alguns países. A Malásia e Tailândia aumentaram o número de postos de trabalho, uma vez que houve um aumento na produção de biocombustíveis para atender o mercado interno. De acordo com valores da tabela 1, para o Brasil estes valores incluem postos de trabalho na cana-de-açúcar, no processamento de etanol, empregos indiretos na fabricação e instalação dos equipamentos.

O aumento eólico teve um forte crescimento, impactando em um aumento na geração de empregos em 2015 de 5% em relação ao ano anterior. O maior crescimento dos postos de trabalho ocorreu na China, Alemanha, Estados Unidos, Índia e Brasil.

Considerando-se todas as tecnologias de Energia Renovável, em 2015 os maiores empregadores foram China, Brasil, Estados Unidos e Índia. A China foi responsável pela geração de mais de um terço dos empregos mundiais em Energia Renovável, com 3,5 milhões postos de trabalho.

Créditos fiscais concedidos por vários anos aumentou as perspectivas de crescimento e geração de empregos. No Brasil, a bioenergia e energia hidroelétrica em grande escala (esta que não está incluída nas estimativas demonstradas na tabela 1) geram a maior parte dos empregos, já o setor eólico apresenta uma tendência de crescimento dos postos de trabalho, devido ao aumento da implantação e fabricação local dos equipamentos.

Na África houve a geração de mais de 60.000 postos de trabalho de Energia Renovável em 2015, sendo quase 50% destes empregos localizados na África do Sul e um terço no Norte da África.

De acordo com a figura 12 a seguir, o setor de energia solar é o responsável pela maior geração de empregos no mundo, seguido do setor de bioenergia, eólica, hidroeletricidade e geotérmica. Vale destacar que para o setor de hidroeletricidade não estão inclusas as estimativas de geração de 50 mil empregos de hidroeletricidade em larga escala.

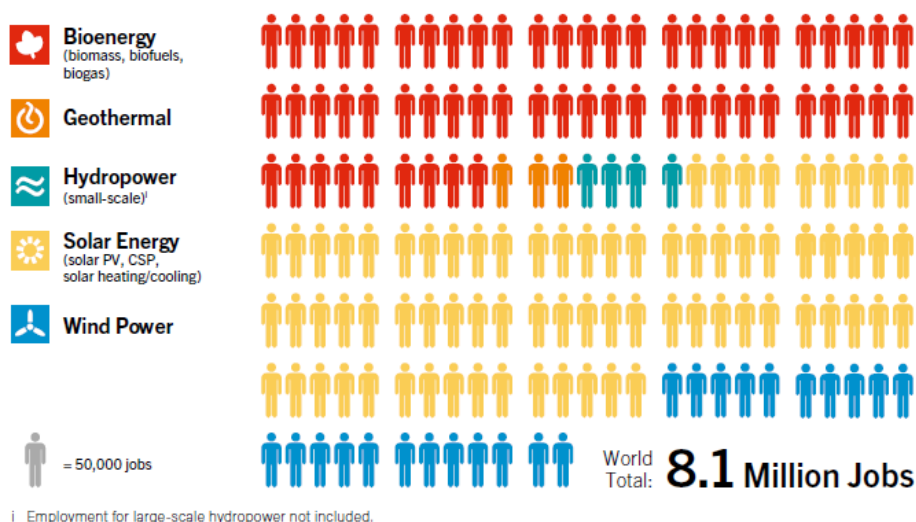


Figura 12: Empregos gerados pelas Fontes de Energia Renovável.

Fonte: REN, 2016.

2.2.2 Evolução do custo da Energia Solar

Em 1955 foi produzido o primeiro módulo fotovoltaico, pela *Bell Laboratories* com o objetivo de ser utilizado no setor de telecomunicações. Posteriormente, foram utilizados em aplicações espaciais (GREEN, 2005).

Na década de 1970, com o uso de módulos voltaicos em Terra. Este novo paradigma proporcionou a padronização do produto e crescimento do mercado competitivo, fazendo com que diminuíssem os custos de produção. No início da década de 1970 haviam duas empresas que vendiam módulos e em 1978 este número aumentou para vinte empresas (GREEN, 2005).

Percebe-se que de acordo com as necessidades de determinada época, a tecnologia evoluiu, permitindo um maior uso; a evolução histórica e econômica foi acompanhada de transformações e evolução científica.

Com um mercado competitivo e desenvolvimento tecnológico, é possível haver impressionantes reduções históricas nos preços dos módulos fotovoltaicos. A curva de aprendizagem dos módulos mais eficientes, com tecnologia Sílico Cristalino (C-Si), apresentou

uma taxa de aprendizagem em torno de 20%, isso quer dizer que ocorre uma redução em torno de 20% nos preços destes módulos em cada duplicação da capacidade de produção e os módulos fotovoltaicos com tecnologias de filme fino (com uma eficiência um pouco menor), como o Telureto de Cádmio (CdTe), a curva de aprendizagem resultou em uma taxa de 22% de redução nos preços em cada duplicação da capacidade de produção (IRENA, 2012).

A seguir, na figura 13 pode-se observar o histórico de preços e a curva de aprendizagem⁸ destas duas tecnologias fotovoltaicas no período de 1979 a 2011. Estas tecnologias estão tendo redução nos preços, podendo assim expandir a capacidade instalada no mercado.

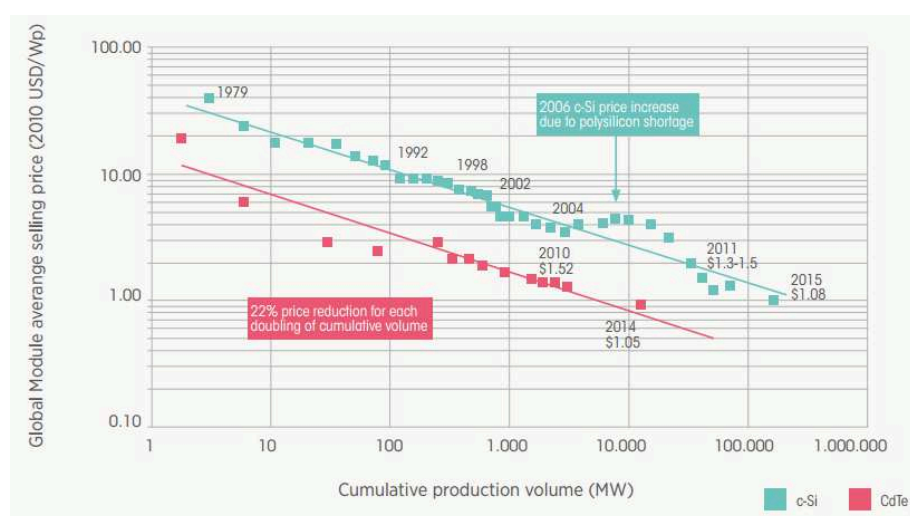


Figura 13: Histórico de Preços e Curva de Aprendizagem (1979 a 2011).

Fonte: IRENA, 2012.

A curva de aprendizado verifica a correlação entre os preços da tecnologia e a produção acumulada. As curvas de aprendizado são baseadas na teoria *learning-by-doing* e *learning by searching*, as quais afirmam que ao longo do tempo, por meio da experiência acumulada, seja em pesquisa ou capacidade instalada, pode-se desenvolver maior eficiência nos processos de produção e conseqüentemente uma diminuição de custos (NAKABAYASHI, 2015).

Segundo Barbose et al. (2013) apud Nakabayashi (2015), para a indústria solar fotovoltaica⁹, percebe-se que cada vez que se dobra a capacidade instalada dos módulos, seus preços sofrem uma redução de aproximadamente 20%. De 2009 a 2012, houve um grande

⁸ Dados de 2011, extraídos do EPIA e *Photovoltaic Technology Platform* (IRENA, 2012).

⁹ Preços da energia solar fotovoltaica instalada nos Estados Unidos (BARBOSE et al., 2013).

crescimento da capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos; uma evolução de quase 500%, o que contribui significativamente para a diminuição dos preços de módulos fotovoltaicos.

Os custos relacionados ao módulo fotovoltaico seguem a tendência do mercado internacional, já os custos não relacionados ao módulo, consistem em uma variedade de componentes que podem ser diretamente afetados pelas condições locais de mercado, como por exemplo, políticas de incentivo em nível nacional (BARBOSE et al., 2013).

Segundo o relatório da Bloomberg New Energy Finance (2016), esta última década houve uma drástica redução no custo de instalação dos sistemas fotovoltaicos, sustentada na competitividade desta tecnologia de geração de energia, permitindo a fabricação e surgimento de economias de escala, e consequentemente, reduzindo ainda mais os custos desta tecnologia. No período de 2010 a 2015 os custos dos módulos fotovoltaicos reduziram cerca de três quartos, em 2015 o custo do watt-pico instalado foi em média no valor de \$1.30, apresentando uma tendência de redução até 2020 para menos de \$1.00 por watt pico instalado. Atualmente os módulos fotovoltaicos representam cerca de 40% do custo de implantação das Plantas Fotovoltaicas, conforme figura 14 a seguir.

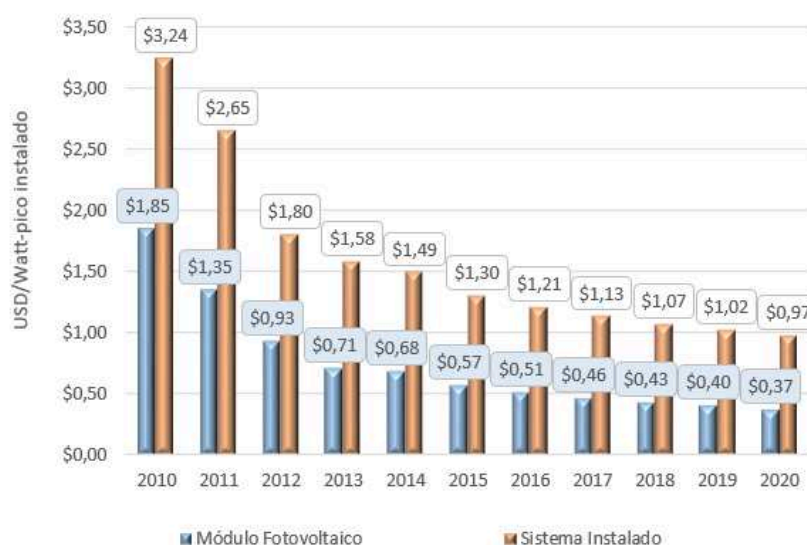


Figura 14: Preço referência do Watt-pico instalado de sistema solar fotovoltaico.

Fonte: Autor, dados do REN, 2016.

A redução do custo de implantação de projetos de energia solar contribui para que a capacidade instalada aumente. Como pode se observar na figura 15 a seguir, a capacidade instalada mundial aumentou em 50 Gigawatts (REN, 2016).

À medida que o mercado fotovoltaico se desenvolve, há uma redução dos custos da tecnologia. O desenvolvimento deste mercado permite uma maior competição dos projetistas e dos instaladores, desenvolvimento dos prestadores de serviços, trazendo economia de escala à cadeia de suprimentos (NAKABAYASHI, 2015).

A evolução da tecnologia permite uma redução no custo, por meio da curva de aprendizado e, conseqüentemente, a ampliação da capacidade instalada no mundo, promovendo o crescimento econômico dos países beneficiados pela produção dos painéis fotovoltaicos e também dos países que ampliarem a potência instalada em energia solar.

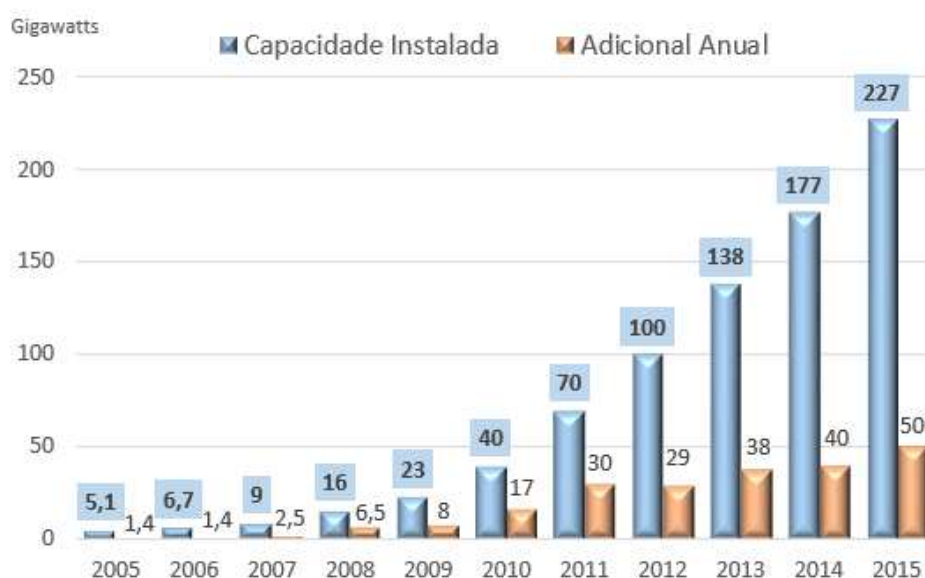


Figura 15: Evolução da Capacidade Instalada Mundial.

Fonte: Autor, dados do REN, 2016.

Analisando-se a Capacidade instalada nos 10 países líderes mundiais nesta tecnologia de energia, na figura 16 a seguir, os países que mais aumentaram a capacidade instalada em 2015 foram: China (30%), Japão (22%), Estados Unidos (15%), Reino Unido (7%), Índia (4%).

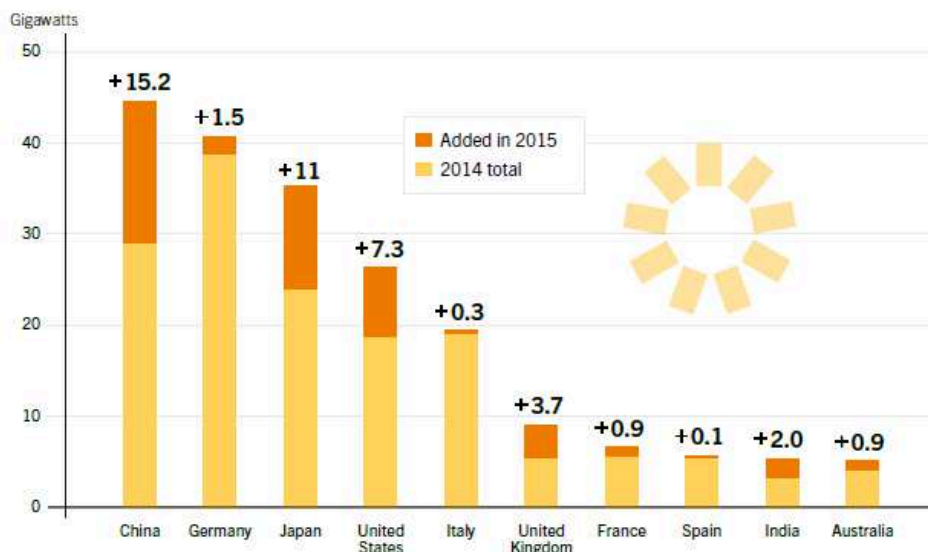


Figura 16: Evolução da Capacidade Instalada 10 líderes mundiais.

Fonte: REN, 2016.

2.2.3 Tendências no Mercado de Energias Renováveis

Estudos realizados pelo Bloomberg New Energy Finance (BNEF) e publicado no New Energy Outlook (NEO, 2016) apontam que em 20 anos as energias renováveis ultrapassarão as energias como o carvão e gás natural.

O estudo prevê um investimento vultoso de USD7,8 trilhões de dólares em fontes como eólica, solar e biomassa até 2040 e apontam como principais mudanças:

- Quedas nos custos até 2040, estimadas em 41% para energia eólica e 60% para energia solar;
- Veículos elétricos serão responsáveis por cerca de 8% da demanda global de eletricidade em 2040;
- Os veículos elétricos vão reduzir o custo de baterias de lítio-íon, aumentando cada vez mais a sua implantação em sistemas solares residenciais e comerciais, movimentando assim um mercado estimado em USD250 bilhões;
- Energias renováveis vão dominar na Europa e ultrapassarão o gás nos EUA. Eólica, solar, hídrica e outras energias renováveis vão gerar 70% da energia da Europa em 2040, aumentando 32% em relação à 2015;
- Nos EUA, a participação das energias renováveis passará de 14% em 2015 para 44% em 2040, assim como a de gás vai cair de 33% para 31%, mostrando uma rápida transição para energia limpa ao longo dos próximos 25 anos;

- Em 2018, o Brasil deverá estar entre os 20 países maiores geradores de energia solar, considerando-se a potência já contratada e a escala de expansão. O investimento na geração distribuída torna-se uma grande aliada do desenvolvimento regional, social e ambiental (MME, 2015);
- Empresas Chinesas estão aumentando a capacidade internacional de investimento, intensamente na Ásia, conforme figura 17 a seguir, que mostra a atuação das empresas desenvolvedoras de células fotovoltaicas e sua expansão no mercado mundial.

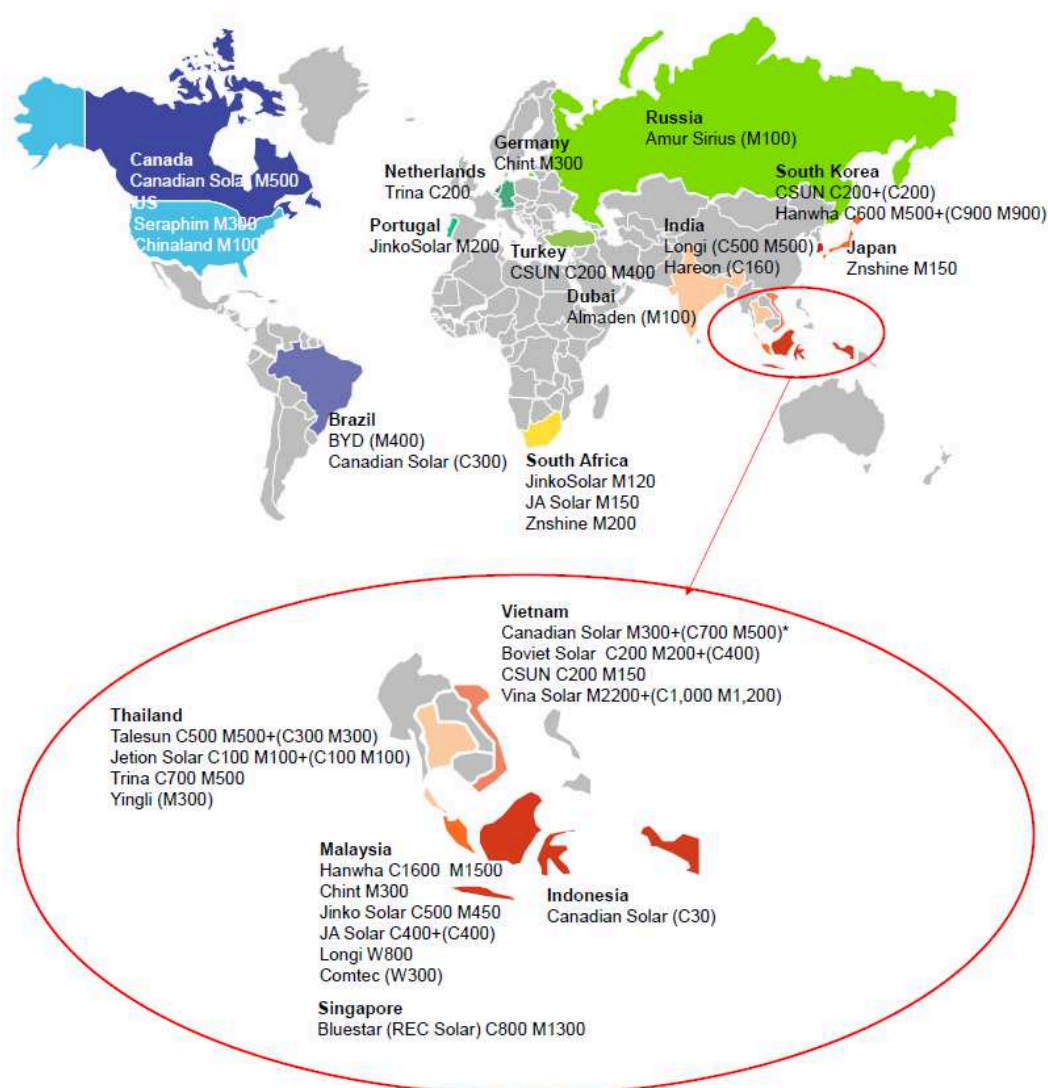


Figura 17: Empresas Atuantes no Mercado de Energia Solar.

Fonte: NEO, 2016.

3 MERCADO ENERGÉTICO NACIONAL

Este capítulo tem por objetivo apresentar a regulação da energia solar para o Brasil, a Capacidade Instalada da matriz energética, o custo e consumo da energia elétrica no país. Além disso, serão apresentados os programas de incentivo ao investimento em energias renováveis existentes no Brasil e suas possíveis falhas, bem como os incentivos de sucesso existentes no mercado internacional que favorecem a inserção da energia solar fotovoltaica em larga escala.

3.1 REGULAÇÃO DA ENERGIA SOLAR

As Centrais de Geração Fotovoltaicas geralmente podem ser incorporadas à estrutura de edificações e resultam em menor impacto ambiental. Desta forma, a energia fotovoltaica pode ser um importante condutor de uma matriz energética limpa e eficiente. No Brasil os primeiros sistemas começaram a ser instalados devido ao novo marco regulatório neste setor (MIRANDA, 2013).

Uma das primeiras leis a regulamentar o setor de energia solar no Brasil foi a Lei de Eficiência Energética, nº 10.295 de 2001, a partir da qual o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) passou a fazer exigências sobre o desempenho dos produtos, como por exemplo analisar os itens fotovoltaicos com base na sua capacidade de gerar energia (INMETRO, 2013). Desta forma, os fabricantes dos itens devem contratar um laboratório de especificação para realização dos ensaios necessários.

A energia solar foi regulamentada pela Resolução Normativa nº 481 de 2012 (ANEEL, 2012), com um aumento no desconto da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição e de Transmissão (TUSD/TUST) para 80% aos empreendimentos com início de operação comercial até 2017, reduzindo para 50% após o décimo ano de operação da planta.

A resolução nº 482 de 2012 (ANEEL, 2012) passou a prever condições gerais de acesso, bem como mecanismos de compensação de energia para sistemas de microgeração e minigeração distribuída.

A Geração Distribuída consiste na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes de energias renováveis, ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2016).

De acordo com a ANEEL (2016), a Geração Distribuída é subdividida em:

- Microgeração: Central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW;
- Minigeração: Central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para outras fontes.

A resolução nº 517 de 2012 (ANEEL, 2012) especificou como funcionaria o sistema de compensação de energia. Se a geração fosse maior que o consumo, o saldo positivo ficaria disponível para utilização nos meses subsequentes, ou seja, a energia ativa era injetada à distribuidora local, como por exemplo na Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC) e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa na mesma unidade consumidora, ou de outra unidade consumidora da mesma titularidade da geração de energia, desde que possuísse o mesmo Cadastro Nacional de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ). Mesmo utilizando o sistema de compensação de energia elétrica, esta norma estabelecia a cobrança de um valor mínimo na fatura do usuário, referente ao custo disponibilidade.

A resolução nº 687 de 2015 (ANEEL, 2015) alterou a resolução nº 482 de 2012 e estas alterações passaram a vigorar em março de 2016. A seguir, na tabela 2, destacam-se as alterações mais significantes, como a potência instalada, que para microgeração diminuiu e para minigeração aumentou (considerando a geração de energia por fontes renováveis, a eólica, solar e biomassa aumentou para até 5 MW de potência instalada e a hídrica para até 3 MW) e também o prazo para compensação de energia, que aumentou consideravelmente de 36 para 60 meses. Estas alterações passaram a facilitar as instalações e permitir um maior estímulo aos investimentos neste setor.

Esta resolução permite a instalação de empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras, com utilização da energia elétrica de forma independente (unidades consumidoras individualizadas) e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituem outra unidade consumidora de responsabilidade do condomínio ou do proprietário do empreendimento (ANEEL, 2015).

Tabela 2: Comparativo Resolução 482/2015 e 687/2015 ANEEL.

Requisito	Resolução 482/2012	Resolução 687/2015
Microgeração Distribuída	Central de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 100 kW.	Central de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW.
Minigeração Distribuída	Central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW (para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada).	Central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW (para fontes hídricas) e menor ou igual a 5 MW (para geração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL).
Sistema de Compensação de energia	A energia injetada por unidade consumidora (por microgeração ou minigeração distribuída) é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa desta mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ).	A energia ativa injetada por unidade consumidora (por microgeração ou minigeração distribuída) é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa.
Prazo para compensar energia	36 meses.	60 meses.

Fonte: Autor; resoluções da ANEEL.

Há também a permissão de geração compartilhada com vários consumidores dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio cooperativas ou consórcios, composta por pessoa física ou jurídica, e que possuam unidades consumidoras com microgeração ou minigeração distribuída em locais diferentes das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada (ANEEL, 2015).

Outra fonte de consumo de energia que foi regulamentada pela Resolução nº 687 da ANEEL (2015) é o autoconsumo remoto, caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica (incluídas matriz e filial) ou Pessoa Física, que possuam unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras (respeitando-se a área de concessão ou permissão), nas quais a energia excedente será compensada.

Em 2015 o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), através do Convênio ICMS 16, autorizou estados a concederem isenção do ICMS sobre a energia excedente injetada nas redes das distribuidoras. Assim, cada governador estadual pode aderir ao Convênio 16 e desonerar este tributo. Santa Catarina ainda não aderiu ao convênio, mas há uma certa tendência à adesão, uma vez que muitos estados já adotaram e também pela tendência ao incentivo em investimentos de energia limpa.

A Lei nº 13.169 de 2015 também contribuiu para maiores investimentos no setor, desonerando o PIS e COFINS da energia excedente gerada que retorna à unidade consumidora.

A Portaria nº 538 de 2015 do Ministério de Minas e Energia criou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), com o objetivo de ampliar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores. Esta portaria define o preço de referência para a energia solar fotovoltaica de R\$ 454,00/MWh, porém não há indicação de como este preço será aplicado.

A Lei nº 13.203 de 2015 autorizou BNDES a apoiar com recursos a taxas diferenciadas projetos de eficiência energética e de geração distribuída por fontes renováveis em escolas e hospitais públicos. Além disso, para empreendimentos de energia solar, esta lei determina que a ANEEL estipule um percentual de redução, não inferior a 50% a ser aplicado às tarifas de energia de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, desde que a potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja maior que 30.000 kW (trinta mil quilowatts) e menor ou igual a 300.000 kW (trezentos mil quilowatts) e resultem de leilão de compra de energia e também venham a ser autorizados a partir de janeiro de 2016.

3.2 MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA NACIONAL, CUSTO E CONSUMO POR FONTE DE ENERGIA

3.2.1 Matriz de Energia Elétrica e Capacidade Instalada

Em dezembro de 2015, a capacidade instalada total de geração de energia elétrica do Brasil atingiu 140.858 MW, havendo um acréscimo de 6.945 MW, em comparação com o mesmo mês em 2014. Deste valor, 2.457 MW foi acrescido pela geração de fonte hidráulica, 1.737 MW foi acrescido pelas fontes térmicas e 2.745 MW foi acrescido pela fonte eólica e 6 MW foi acrescido pela energia solar. Os valores de capacidade instalada são relativos apenas à energia produzida nacionalmente, não considerando uma importação contratada de 5.650 MW do Paraguai e 200 MW da Venezuela (MME, 2015).

A tabela 3 abaixo classifica a matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil em 2015. Observa-se que a matriz energética de capacidade instalada no Brasil em 2015 foi composta por: energia hidráulica (65,1%), energia eólica (5,4%), energia solar

(<0,1%), gás natural (8,8%), biomassa (9,4%), petróleo (7,2%), carvão (2,6%), energia nuclear (1,4%) e outros tipos de energia (0,1%) (MME, 2015).

Tabela 3: Matriz de Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica em 2015.

Fonte de Energia	Dez/2014	Nº Usinas	Dez/2015		Evolução da Capacidade Instalada 2014/2015
	Capacidade Instalada (MW)		Capacidade Instalada (MW)	% Capacidade Instalada	
Hidráulica	89.193	1.219	91.650	65,1%	2,8%
Térmica	39.817	2.898	41.554	29,5%	4,4%
Gás Natural	12.590	146	12.428	8,8%	-1,3%
Biomassa	12.392	519	13.257	9,4%	7,0%
Petróleo	9.251	2.178	10.114	7,2%	9,3%
Carvão	3.593	22	3.612	2,6%	0,5%
Nuclear	1.990	2	1.990	1,4%	0,0%
Outros	0	31	153	0,1%	-
Eólica	4.888	316	7.633	5,4%	56,2%
Solar	15	34	21	0,01%	40,0%
Capacidade Total	133.913	4.467	140.858	100%	5,2%

Fonte: Autor; dados do MME, 2015.

Em 29 de junho de 2016 a capacidade instalada no Brasil aumentou para 144.733 MW, conforme tabela 4 a seguir, sendo os maiores percentuais correspondentes à energia hidroelétrica (61,20%), Gás Natural (8,53), Biomassa de origem agroindustrial (7,05%), Petróleo (6,52), e Energia eólica (5,9%). Em 2016 o Brasil aumentou a importação de energia, totalizando 8.170 MW (ANEEL, 2016).

Tabela 4: Matriz de Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica em 2016.

Fonte de Energia	Origem	Unidades	(MW)	%	Total (MW)	Total (%)
Biomassa	Agroindustriais	410	10.775	7,05	13.365	8,74
	Biocombustíveis líquidos	2	4	0,00		
	Floresta	86	2.501	1,64		
	Resíduos animais	10	2	0,00		
	Resíduos sólidos	14	84	0,05		
Eólica	Cinética do vento	370	9.019	5,90	9.019	5,90
Fóssil	Carvão mineral	22	3.612	2,36	26.762	17,50
	Gás natural	152	13.036	8,53		
	Outros Fósseis	1	147	0,10		
	Petróleo	2199	9.967	6,52		
Hidroelétrica	Potencial hidráulico	1219	93.574	61,20	93.574	61,20
Nuclear	Urânio	2	1.990	1,30	1.990	1,30
Solar	Radiação solar	39	23	0,02	23	0,02
Capacidade Instalada Total					144.733	100,00

Fonte: Autor; dados da ANEEL, 2016¹⁰.

¹⁰ Dados acessados em:

<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>

A energia Solar contribui em 0,02% da capacidade instalada total, percentual ainda baixo, mas que apresenta aumento no número de usinas e crescimento em relação à 2015 (ANEEL, 2016).

Segundo a ANEEL (2016), para os próximos anos, está prevista uma adição de 26.966 MW na capacidade de geração do Brasil, proveniente de 194 empreendimentos que estão atualmente em construção e 681 empreendimentos com construção ainda não iniciada.

Na tabela 5 a seguir pode-se observar a evolução das contratações de energia solar de geração pública centralizada, bem como a capacidade instalada e o preço de venda desta energia gerada.

Tabela 5: Contratações de energia solar de geração pública centralizada.

Mês/Ano	Projetos Contratados	Capacidade Instalada (MW)	Energia Contratada	Início de Suprimento	Período Contratado (Anos)	Preço de Venda (R\$/MWh)	Preço de Venda (US\$/MWh)
10/2014	31	890	202	2017	21	215,50	88,20
08/2015	30	834	232	2017	21	301,60	84,30
11/2015	33	929	245	2018	21	297,40	78,20
TOTAL	94	2.653	679	-	-	-	-

Fonte: Autor; dados do MME, 2015.

3.2.2 Preço Médio por tipo de energia no Brasil

Na figura 18 a seguir pode-se observar os preços médios dos últimos Leilões de Energia promovidos pelo MME para geração de energia, por fonte de geração. Percebe-se que a geração de energia solar apresenta o maior valor em reais, e em dólares (câmbio do dia do leilão), os preços de cavaco e do carvão mineral superaram o preço da energia solar.

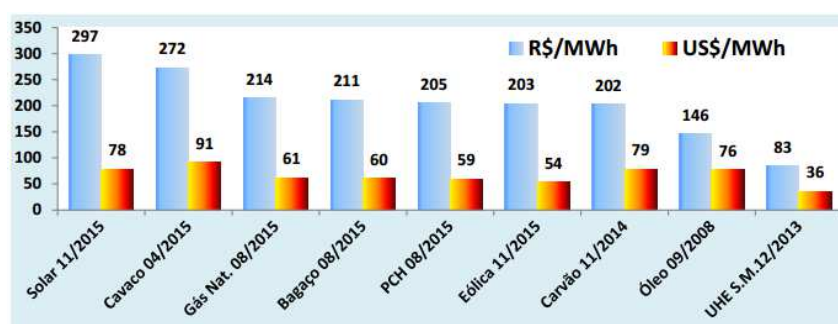


Figura 18: Preços Médios de Leilões de geração, por fontes de energia.

Fonte: MME, 2015.

Com a tendência de queda nos custos de produção do painel fotovoltaico, aliado à consolidação desta tecnologia e produção em larga escala, certamente aumentarão os investimentos em fontes de energia solar fotovoltaica no Brasil nos próximos anos. Com a criação de um mercado competitivo, certamente ocorrerá o crescimento deste setor no Brasil.

3.2.3 Consumo de Energia no Brasil

De acordo com os dados apresentados em 2016 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2015 o consumo de energia elétrica no Brasil atingiu 464.725 GWh, diminuindo 2,1% em relação ao ano anterior. Esta redução ocorreu principalmente pela redução em 5,3% do consumo industrial, em decorrência do cenário econômico desfavorável ao longo do ano. O consumo residencial também reduziu em 0,7%, devido à alta das tarifas, maior redução já registrada desde 2004.

A figura 19 a seguir apresenta a evolução do consumo de energia elétrica no Brasil e nos últimos dez anos o consumo de energia elétrica aumentou 30,5%.

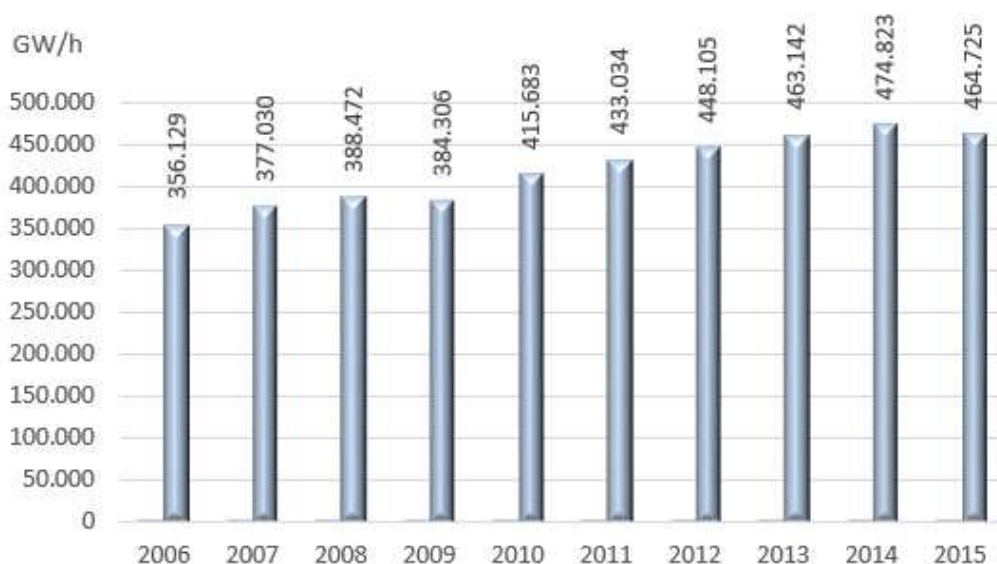


Figura 19: Evolução do consumo de Energia Elétrica.

Fonte: Autor; dados da EPE, 2016.

3.3 INSERÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM LARGA ESCALA NO BRASIL

3.3.1 Programas de Incentivos e possíveis falhas

Atualmente o Brasil dispõe de alguns incentivos para fontes alternativas de energias renováveis, como por exemplo o convênio Confaz 101/97, vigente até 2021, que isenta do ICMS as operações com equipamentos de aproveitamento da energia solar e eólica (MME, 2014).

A Lei 10.762/2003, regulamentada pela Resolução Normativa 77/2004 da ANEEL, permite desconto de 50% nas tarifas de transmissão e distribuição de energia, para empreendimentos de geração por PCH, biomassa, solar e eólica (MME, 2014).

Na área de financiamento de projetos de energias renováveis atualmente há a linha do Financiamento de Máquinas e Equipamentos (FINAME), cujos financiamentos podem ser obtidos por meio de rigorosas exigências na nacionalização de equipamentos (MME, 2014).

Na área da energia solar no Brasil, as placas fotovoltaicas são importadas, pois não há produção nacional até o momento, porém este cenário já apresenta mudanças, uma vez que a *Canadian Solar* anunciou que investirá em uma fábrica de painéis fotovoltaicos no Brasil visando atender a demanda do país e futuramente toda a América Latina.

Um programa de incentivo criado pelo governo foi o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), criado em 1994 e coordenado pelo Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (DNDE), do Ministério de Minas e Energia. O objetivo do PRODEEM foi promover o suprimento de energia às comunidades rurais de baixa renda localizadas em regiões distantes da rede elétrica convencional. Foi priorizada a eletrificação através dos sistemas solares fotovoltaicos adquiridos em licitações internacionais, por terem um consumo energético relativamente baixo quando comparado ao custo da extensão de redes de transmissão e distribuição em locais muito distantes (SALAMONI, 2009; TORRES, 2012).

Atualmente a Resolução 517 define que o excedente de energia solar não pode ser comercializado, fica então disponível no Banco de Energia para uso posterior. Porém, o Conselho Nacional de Política Fazendária, pelo CONFAZ 6 instituiu que o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) deveria ocorrer no consumo bruto de energia, e não sobre o consumo líquido da energia retirada da rede de distribuição, ou seja, ao consumidor

é aplicado o ICMS sobre o consumo bruto, não considerando a energia injetada na rede. Esta metodologia de cálculo afeta os consumidores fora do horário de insolação, assim, quanto maior for o consumo de energia fora do horário de geração de um sistema fotovoltaico, maior será o impacto negativo para a viabilidade econômica, pois parte da energia que foi injetada na rede e será compensada posteriormente será tributada pelo ICMS (FREITAS; HOLLANDA, 2015).

Políticas de incentivo ao investimento em energias renováveis são muito importantes no sentido de racionalizar o uso dos recursos energéticos, de modo que as ações do Estado gerem externalidades positivas, proporcionando retorno financeiro aos investidores e também à sociedade, que estaria sendo beneficiada com a redução da poluição.

É importante considerar que o subsídio não necessariamente deverá estar presente o tempo todo na economia, uma vez que este mecanismo consiste na redução gradual de investimentos num período de tempo. Seria importante estimular o uso das fontes de energias renováveis até elas se tornarem competitivas no mercado e não necessitem mais destes incentivos.

3.3.2 Ampliação do Mercado de Energia Solar Fotovoltaica no Brasil baseado em incentivos do mercado internacional

Para a ampliar o Mercado de Energia Solar no Brasil, é muito importante realizar um estudo aprofundado dos mecanismos de incentivo de sucesso em países desenvolvidos e poder adaptá-los na matriz energética brasileira.

Incentivos políticos impactam no custo da tecnologia, isso pode ser observado por meio de uma análise estatística detalhada do custo da energia solar fotovoltaica na Califórnia (Estados Unidos); os custos de energia solar têm diminuído substancialmente ao longo do tempo, economias de escala têm impulsionado os custos para sistemas maiores, e sistemas desenvolvidos em conjunto com projetos de construções tornam os preços acessíveis e abaixo do preço de mercado. Pelo fato de que a energia solar fotovoltaica é renovável, limpa e livre de combustível, os mercados estão se expandindo rapidamente (WISER et al., 2006).

O mercado de energia solar da Califórnia é impulsionado por uma mistura de incentivos de Estado e incentivos locais, como por exemplo, o custo do produto reduz se há a contratação da instalação com o fornecedor dos itens da planta fotovoltaica. Os preços também acabam reduzindo devido à concorrência mais robusta no mercado da Califórnia (WISER et al., 2006).

Programas sustentados a longo prazo podem permitir significativas reduções de custos. É importante salientar que incentivos mais significativos podem ser necessários inicialmente para

impulsionar o mercado, contudo, ao longo do tempo os incentivos deverão diminuir para um nível que a infraestrutura de mercado suporte, sem proporcionar espaço para manipulação de preços (WISER et al., 2006).

Pode-se citar o Japão, que criou um mercado de energia solar residencial considerável e que funciona bem através de um compromisso sustentado de longo prazo. O governo Japonês apoiou a implantação de mais de 220.000 sistemas fotovoltaicos residenciais no período de 1994 a 2004 e incluiu mais 60.000 sistemas só em 2004, resultando em um declínio no custo da implantação do sistema, em média 8,3% ao ano de 1998 a 2004 (WISER et al., 2006).

Nos Estados Unidos, para a fonte de energia solar há um programa de subsídio chamado "*Investment Tax Credit (ITC)*", são créditos fiscais de Investimento que foram estabelecidos ainda em 2006, em um percentual de 30%. Em 2008, devido à necessidade de estabilização econômica após a crise, houve a permanência deste subsídio até 2015, ano em que passou a sofrer alterações: o crédito fiscal manteve o valor de 30% para investimentos solares residenciais e comerciais até 2019, em seguida o crédito reduz para 26% em 2020, 22% em 2021, e posteriormente para 10% apenas nos projetos comerciais, de acordo com a *Solar Energy Industries Association* (SEIA, 2016). Para os projetos que são implantados no final de 2021, é permitido solicitar o crédito fiscal, desde que comecem a operar antes de 2023.

O ITC é um dos mais importantes mecanismos de políticas federais para apoiar o desenvolvimento da energia solar nos Estados Unidos, proporcionando segurança nos negócios, tanto para os desenvolvedores quanto para os investidores do projeto, impulsionando a concorrência e inovação tecnológica, fatores que contribuem para a redução de custos aos consumidores e também impulsionando o crescimento de empregos (SEIA, 2016).

Por meio deste subsídio, a indústria de energia solar terá um crescimento sustentado, sendo prevista a implantação de mais de 20 gigawatts (GW) de capacidade elétrica de energia solar no ano de 2020, desenvolvendo mais de 420.000 empregos, conforme gráfico 17 a seguir.

O sucesso deste subsídio nos Estados Unidos demonstra que incentivos fiscais federais estáveis e de longo prazo podem impulsionar o crescimento econômico, a redução dos preços e a geração de empregos.

O Brasil apresenta tecnologia para fabricação da maioria dos materiais necessários para a montagem dos módulos, porém não para a fabricação das células fotovoltaicas, componente este que apresenta o maior valor agregado, apesar de possuir a maior reserva mundial de quartzo de silício, este que é exportado para outros países, como a China e Alemanha, que fabricam

essas células e as exportam para o Brasil para a montagem dos módulos (FREITAS; HOLLANDA, 2015).

Enquanto a indústria internacional de sistemas fotovoltaicos está em crescimento vertiginoso há vários anos, o Brasil ainda não possui um parque industrial competitivo. A grande maioria dos módulos fotovoltaicos existentes no Brasil, são importados, encarecendo a implantação de sistemas de energia solar em momentos de alta do dólar. Como o Brasil é o maior exportador mundial de silício no grau metalúrgico, poderia se inserir nesse mercado de fabricação e comercialização de módulos fotovoltaicos, por meio do desenvolvimento de um parque industrial competitivo com potencial para disputar o mercado internacional, além da instalação de indústrias que fabricassem o silício no grau de pureza solar (MME, 2007).

Na década de 30, Schumpeter enfatizou a importância da inovação para o desenvolvimento econômico das nações, estas que não se restringem a produtos e processos, mas que envolvem também novos mercados, novos insumos de produção e novas formas de gestão.

Nos mercados internacionais, observa-se que as políticas de incentivo ocorrem de diversas maneiras, podendo ser ligada à tarifa, como a *Feed-in-Tariff* que é muito comum em países europeus e asiáticos. Há também um outro método, o Certificado de Energias Renováveis (*Renewables Energy Certificates* - REC) aplicado em outros países, inclusive a Índia (FREITAS; HOLLANDA, 2015).

As tarifas FiT são estabelecidas em contratos maiores que 15 anos, sendo o valor da tarifa estabelecido com base no custo da geração da energia. O incentivo neste tipo de tarifa ocorre pelo fato de que o valor pago pela energia armazenada na rede é maior do que o valor da energia comprada da distribuidora. O NEM, aplicado em países dos Estados Unidos e Austrália, gera créditos (em kWh) aos proprietários de sistemas fotovoltaicos, pela energia excedente injetada na rede da distribuidora. Há, portanto, apenas a contabilização do saldo de energia que foi injetado e poderá ser descontado do consumo, não havendo comercialização de energia. O Brasil adotou este tipo de política, por meio do funcionamento do banco de crédito de energia. Quanto aos RECs, os compradores podem selecionar os certificados de acordo com o local da geração e a fonte de energia. Este mercado surgiu através de legislações de alguns estados, estes que exigiam que parte da eletricidade de empresas de energia fosse suprida pelas fontes renováveis. No Brasil ainda não há um mercado instaurado de comercialização deste tipo de certificação (FREITAS; HOLLANDA, 2015).

Alguns incentivos quanto à redução de impostos sobre equipamentos de geração solar fotovoltaica e insumos estão sendo realizados no Brasil nos últimos anos. Pode-se citar a

Câmara de Comércio Exterior (CAMEX), que através da Resolução nº 29, de abril de 2015, determinou a redução da alíquota do Imposto de Importação incidente sobre bens de capital destinados à produção de equipamentos de geração solar fotovoltaica de 14% para 2%, até o final de 2015 (CAMEX, 2015).

Em janeiro de 2016 a Câmara de Comércio Exterior (CAMEX), através da Resolução nº 06, determinou a redução para 2%, até dezembro de 2017, da alíquota do Imposto de Importação incidente sobre células solares de silício policristalino para a fabricação de módulos ou painéis solares fotovoltaicos (CAMEX, 2015). Certamente essa redução de impostos é vital para estimular a indústria nacional, de forma a aquecer o mercado de energia solar, expandindo as cadeias produtivas e os investimentos neste setor.

É importante também o desenvolvimento de infraestrutura para o setor privado e apoio a empreendedores da área, por exemplo, por meio dos créditos fiscais, além de linhas específicas de financiamentos e subsídios.

4 DECISÃO DE INVESTIMENTO EM ENERGIA SOLAR: ESTUDO DE CASO

Este capítulo descreve o Sistema Fotovoltaico conectado à rede elétrica, o sistema de tarifas de energia elétrica, a apresentação do estudo de caso, as premissas existentes para a geração da energia solar e as premissas econômicas para a realização do Investimento. Descreve-se também todo o referencial teórico a respeito da análise de Investimento.

4.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

4.1.1 Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica

Um Sistema Fotovoltaico conectado à rede elétrica é composto basicamente por painéis fotovoltaicos, inversores, e medidor bidimensional. Conforme Relatório Interno da VILCO Engenharia¹¹, a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos precisa ser convertida da corrente contínua dos painéis para a corrente alternada, função esta que é desempenhada pelos inversores.

Na figura 20 a seguir, observa-se que a energia gerada pelo painel fotovoltaico passa pelo inversor, que após convertê-la, permite que a energia seja usada na unidade consumidora e que o excedente seja destinado à rede da distribuidora. Observa-se que o medidor bidirecional tem a função de medir a energia está sendo destinada à rede e também a energia que é consumida da rede.

¹¹ Relatório Interno SOL300 VILCO Engenharia.

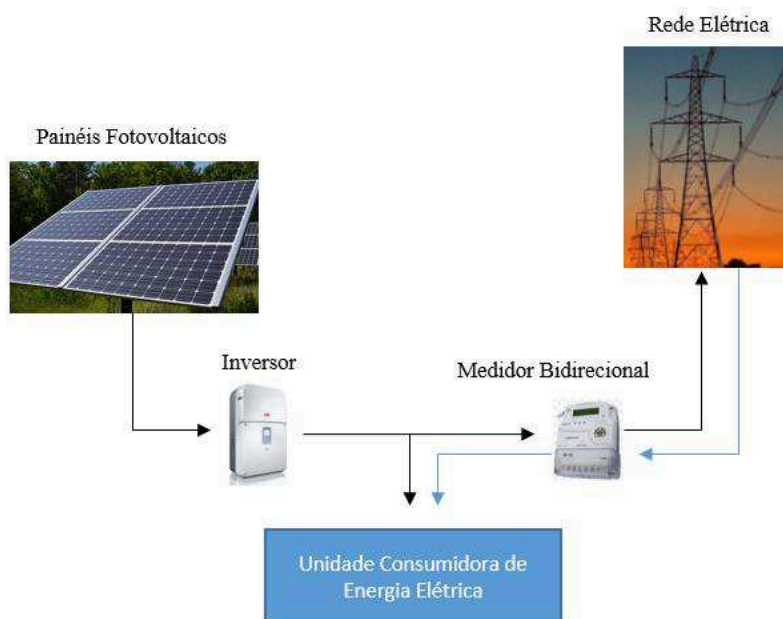


Figura 20: Esquema Elétrico para geração de energia fotovoltaica.

Fonte: Autor

A tecnologia mais comum aplicada nas células fotovoltaicas utiliza o silício na fabricação de células cristalinas (Módulo Monocristalino e Policristalino), e não cristalinas (Módulo Amorfo), apresentando características físicas e processo de fabricação diferentes, impactando na eficiência no seu custo. As células Monocristalinas tem um processo de fabricação mais complexo e apresentam maior eficiência entre as tecnologias comerciais, entre 14 a 20%, sendo estas células as mais caras no mercado. As células Policristalinas são mais difundidas no mercado global, por oferecerem o melhor custo/benefício, apresentando eficiência entre 11 a 19%. As células Silício Amorfo apresentam custo de produção reduzido em relação às outras tecnologias mencionadas, contudo, apresenta eficiência muito baixa, entre 6 e 9% (FREITAS; HOLLANDA, 2015).

4.1.2 Tarifas de Energia

De acordo com o MME (2011), no Brasil as unidades consumidoras são classificadas em grupos que são definidos principalmente em função do nível de tensão que são atendidos e em função da demanda (kW). Desta forma, consumidores atendidos em alta tensão, acima de 2300 volts, como por exemplo indústrias, shopping e alguns edifícios comerciais, são classificados no Grupo A, este que se subdivide em:

- Subgrupo A1: nível de tensão de 230 kV ou mais;
- Subgrupo A2: nível de tensão de 88 a 138 kV;
- Subgrupo A3: nível de tensão de 69 kV;
- Subgrupo A3a: nível de tensão de 30 a 44 kV;
- Subgrupo A4: nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- Subgrupo AS: sistema subterrâneo.

Ainda de acordo com o MME (2011), a estrutura tarifária, ou, conjunto de tarifas aplicáveis à energia elétrica, varia de acordo com a modalidade de fornecimento e divide-se em:

- Convencional: um único valor da demanda pretendida pelo consumidor (Demanda Contratada), independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta) ou período do ano (seco ou úmido);
- Horo-sazonal Verde: há um contrato constando a demanda pretendida pelo consumidor (Demanda Contratada), independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta);
- Horo-sazonal Azul: pactua tanto o valor da demanda pretendida pelo consumidor no horário de ponta (Demanda Contratada na Ponta) quanto o valor pretendido nas horas fora de ponta (Demanda Contratada fora de Ponta).

De acordo com a ANEEL (2016), a partir de 2015 as tarifas de energia passaram a ser regidas por meio do sistema de bandeiras tarifárias, indicando o custo da energia:

- Bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia, portanto a tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- Bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis por isso a tarifa é acrescida em R\$ 0,015 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos;
- Bandeira vermelha (Patamar 1): condições mais custosas de geração, portanto a tarifa é acrescida em R\$ 0,030 para cada quilowatt-hora kWh consumido;
- Bandeira vermelha (Patamar 2): condições ainda mais custosas de geração, portanto a tarifa é acrescida em R\$ 0,045 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

Vale destacar que periodicamente a ANEEL aplica Reajustes e Revisões Tarifárias. Os Reajustes Tarifários ocorrem anualmente¹², visando atualizar os custos gerenciáveis e repassar os custos não gerenciáveis. Os custos gerenciáveis são atualizados pelo Índice Geral de Preços

¹² Reajustes Tarifários ocorrem anualmente, em agosto. Não há Reajuste Tarifário Anual em anos que ocorre a Revisão Tarifária Periódica.

do Mercado (IGPM) e decorrem de serviços prestados diretamente pelas concessionárias. Os custos não gerenciáveis estão relacionados a serviços contratados pela distribuidora, como por exemplo, compra de energia elétrica e encargos setoriais.

As revisões tarifárias periódicas¹³ visam preservar o equilíbrio econômico-financeiro da concessão, com base nas mudanças do mercado. A Revisão Tarifária periódica remunera os investimentos feitos pela concessionária, incentivando a melhoria contínua do serviço.

O sistema de compensação da energia gerada e “armazenada” no Banco de Energia da distribuidora ocorre conforme a figura 21 a seguir, fornecida pela VILCO Engenharia. Neste esquema observa-se que a produção de energia solar no horário fora de ponta é maior que o consumo da unidade consumidora, assim, todo excedente produzido é injetado na rede da concessionária, e poderá ficar disponibilizada durante 60 meses até ser recuperada pela unidade consumidora. Durante o horário de Ponta, a mesma unidade consumidora necessita de 100 kWh, porém, a produção neste período é nula, assim o consumo será advindo do banco de créditos de energia CELESC (2015).

Contudo, há de se considerar que a energia em horário de Ponta tem um valor maior que a mesma quantidade de energia em horário Fora de Ponta¹⁴. Desta forma, como a produção se deu em horário mais barato, um fator de correção deverá ser aplicado ao consumo no período mais caro. Neste exemplo ilustrativo, esse fator é de 2, supondo que a tarifa de ponta seja duas vezes maior que a de fora de ponta, e sendo assim os 100 kWh disponibilizados em horário Fora de Ponta tornam-se 50 kWh em horário de Ponta, e os outros 50 kWh deverão ser complementados pela concessionária.

Para a energia gerada, que ficará disponibilizada na rede elétrica e posteriormente for utilizada, há isenção de PIS e COFINS, de acordo com a Lei 13.169 de 6 de outubro de 2015. O ICMS neste caso é cobrado, no caso de o Estado não ter aderido ao convênio ICMS 16.

¹³ Revisões Tarifárias Periódica ocorrem a cada 4 anos.

¹⁴ Em Santa Catarina, o horário de Ponta é definido como o horário no intervalo entre 18:30 até 21:30. Horário Fora de Ponta é considerado o horário restante (CELESC, 2015).

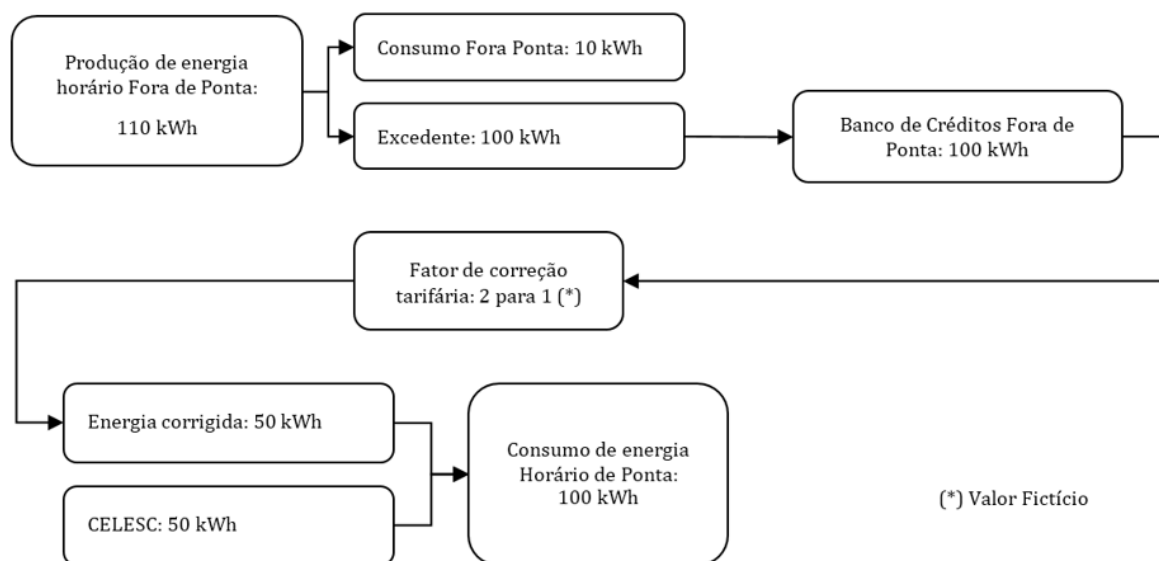


Figura 21: Sistema de Compensação de Energia para Geração Distribuída.

Fonte: Relatório Interno SOL300 da VILCO Engenharia

4.1.3 Apresentação do Estudo de Caso

4.1.3.1 Área Disponível

Para a instalação da CGF, foi considerada a área disponível de um terreno de aproximadamente 12.500 m², anexo à empresa industrial. O Custo de Oportunidade sobre a utilização deste terreno não foi considerado neste estudo de caso, uma vez que o terreno já estava disponível e não era utilizado.

4.1.3.2 Perfil de Consumo

O perfil de consumo nos anos 2013 e 2014 foram de um consumo anual total de 425.609 kWh, sendo 15,19% consumidos em horário de Ponta e 84,81% consumidos em horário Fora de Ponta.

No período de operação da CGF não foram considerados aumento nas instalações de produção envolvendo adição de máquinas e equipamentos na empresa, aumento este que demandaria maior uso de energia elétrica.

O perfil de consumo da empresa industrial foi considerado o A4, na modalidade de Convencional e foram utilizadas as tarifas de energia vigentes pela Resolução 1.927 (ANEEL,

2015) na modalidade tarifária verde, sendo apresentada ao consumidor como valores de Tarifa de Energia (TE) e Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), dadas em R\$/MWh, diferenciadas em horário de Ponta e Fora de Ponta.

Vale destacar que há uma sazonalidade no consumo da energia nesta empresa industrial, uma vez que a maior produção ocorre no inverno, quando há uma menor geração da energia solar, e no verão, quando a CGF produz mais energia, a empresa consome menos energia, “armazenando” então mais energia no Banco de Energia da distribuidora.

4.1.3.3 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Considerou-se o perfil de consumo dos anos 2013 e 2014 para definir a potência instalada de 198 kW e 234 kWp.

De acordo com o Relatório Interno da VILCO Engenharia¹⁵, pode-se utilizar outras definições para esta terminologia, que seriam respectivamente, Potência Instalada de Corrente Alternada, que corresponde à soma das potências nominais dos inversores da CGF (expresso em kW) e Potência Instalada de Corrente Contínua, que corresponde à soma das potências nominais das placas fotovoltaicas instaladas, expressa em kWp. Isso ocorre pelo fato de que as condições de irradiação e temperatura dificultam que os módulos fotovoltaicos atinjam sua potência nominal o tempo todo.

A CGF foi dimensionada considerando-se:

- Módulos Fotovoltaicos

Foram considerados 900 módulos fotovoltaicos com tecnologia de Silício Policristalino, modelo CS6P-260P, da marca *Canadian Solar*, com eficiência de 16,16%. A seguir, ilustração do módulo fotovoltaico.

¹⁵ Relatório Interno SOL300 VILCO Engenharia.

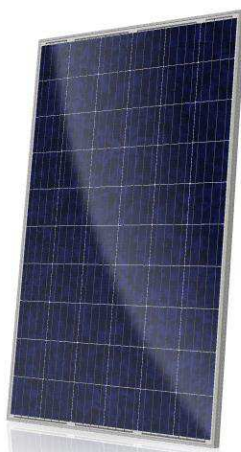


Figura 22: Painei Fotovoltaico

Fonte: *Canadian Solar*¹⁶

- Inversores

Foram considerados 6 inversores, modelo ABB-PRO 33TL.OUTD, da marca *String Inverter*. O inversor é um dos principais equipamentos da CGF, uma vez que ele faz a interligação com o sistema em corrente alternada da rede de distribuição. A seguir, ilustração do Inversor.



Figura 23: Inversor de Corrente Contínua para Corrente Alternada

Fonte: *Krannich Solar*¹⁷

¹⁶ Acessado em: <http://www.canadiansolar.com/solar-panels/standard.html>

¹⁷ Acessado em: [http://fr.krannich-solar.com/fileadmin/content/data_sheets/inverter/france/power_one/Krannich - ABB - FT - PRO - 33.0 TL-OUTD EN.pdf](http://fr.krannich-solar.com/fileadmin/content/data_sheets/inverter/france/power_one/Krannich_-_ABB_-_FT_-_PRO_-_33.0_TL-OUTD_EN.pdf)

- Estruturas Metálicas

O custo das estruturas metálicas, compostas de alumínio sustentado por colunas de aço galvanizado, para suporte dos módulos fotovoltaicos que ficarão orientados para o norte com 26° de inclinação, representa 12,60% do custo total do projeto. No estudo de caso considerou-se que a empresa industrial produziria, visando redução de custo.

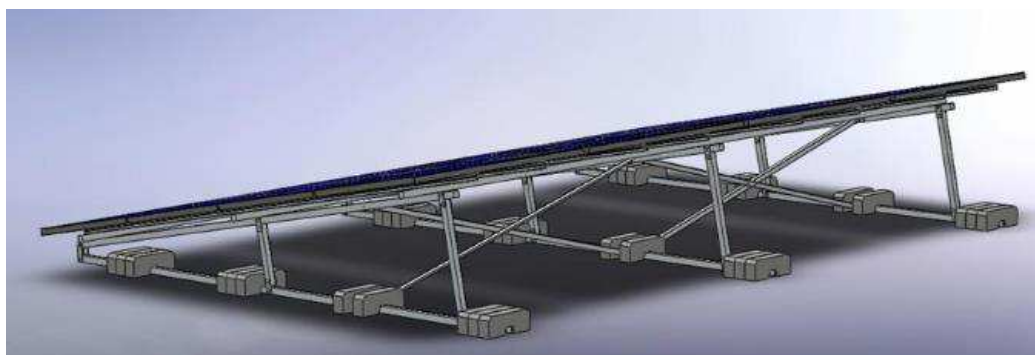


Figura 24: Estruturas Metálicas

Fonte: *Krannich Solar*¹⁸

4.1.4 Premissas para Cálculo da Geração de Energia

Para a geração da energia solar fotovoltaica, foram consideradas as seguintes premissas:

- A geração solar fotovoltaica estimada pelo software Swera foi de 5,10 kW/m²/dia e baseia-se em dados de radiação solar coletados no passado, desta forma, a produção calculada pode sofrer pequenas variações devido à alguns fatores, tais como dias nublados, ventos e variação de temperatura;
- Foi considerada a produção de energia durante o período de 25 anos, podendo ser usada durante os próximos 30 anos;
- Foi considerada também produção de energia em todos os dias da semana, de modo que a indústria “armazene” toda energia gerada em finais de semana e outros dias em que estará sem expediente;

¹⁸ Acessado em: <http://www.prorack.com.br/>

- Foi considerada a depreciação dos módulos fotovoltaicos, sendo que em 10 anos de uso a potência dos módulos será de 90% e ao final dos 25 anos será de 80%;
- Foram consideradas perdas de energia em 21% sobre a geração, perdas estas que são ocasionadas por inúmeros fatores, como desempenho do inversor, sombreamento, irradiância, sujeira e temperatura.

4.1.5 Premissas Econômicas

4.1.5.1 Tarificação da Energia

Foram consideradas as seguintes premissas econômicas para este estudo de caso na área de tarifação:

- Perfil de consumo A4, na modalidade tarifária verde, sendo apresentada ao consumidor como valores de Tarifa de Energia (TE) e Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), dadas em R\$/MWh, diferenciadas em horário de Ponta e Fora de Ponta, conforme a tabela 6 a seguir:

Tabela 6: Tarifas de Energia.

Perfil de Consumo	TUSD		TE	
	R\$/kW	R\$/MW/h		
		Ponta	Fora Ponta	Ponta
A4 (2,3 a 25 kV)	R\$ 9,11	R\$ 688,77	R\$ 74,51	R\$ 394,93
				R\$ 247,42

Fonte: Autor, dados da CELESC, 2015

- Aplicação da Lei 13.169/2015, a qual isenta de PIS e COFINS para a energia excedente que é armazenada na rede e posteriormente retorna à unidade consumidora;
- Para a energia injetada na rede e posteriormente utilizada em horário de Ponta, foi utilizado um fator de correção igual ao quociente entre o valor da tarifa de energia em horário de ponta e o valor da tarifa em fora de ponta, respeitando a bandeira tarifária do mês. Esta correção é a forma que a concessionária tem de equiparar as energias

produzidas em diferentes horários, desta forma, a energia produzida durante o horário de ponta terá um valor maior em relação à produzida em outro horário;

- A tributação incidente nas tarifas de consumo de energia elétrica foi composta pelas seguintes alíquotas: 25% de ICMS; 0,566% de PIS; 2,544% de COFINS. Para o PIS e COFINS foram considerados os valores médios deduzidos pelas faturas de 2013 e 2014;
- Não é possível determinar com precisão as Tarifas de Energia Elétrica no futuro, uma vez que estas variações não são lineares pois são referenciadas na economia nacional e podem sofrer influências governamentais. Contudo, tanto para o Reajuste quanto para a Revisão Tarifária foi considerado que o aumento do preço da tarifa acompanhe pelo menos a inflação. Após a estabilização da economia brasileira pelo Plano Real, criado em 1994, o Índice Nacional de Preços do Consumidor Amplo (IPCA)¹⁹ médio do período de 1996 a 2015 foi de 6,66% e nos últimos 5 anos apresentou uma média de 7,07%; desta forma, foi estabelecido um reajuste anual tarifário de 7% ao ano durante os 25 anos, para que em média acompanhe a inflação;

4.1.5.2 Custos do Investimento e Financiamento

Em relação aos custos do Investimento, foram consideradas as seguintes premissas:

- Desconsiderou-se custos com a armazenagem dos equipamentos, uma vez que poderão ser armazenados em espaço da própria empresa industrial;
- Não foi considerado o custo de desmontagem da planta após os 25 anos de funcionamento, uma vez que ela poderá ser reutilizada se a CGF continuar em operação, inclusive com a recolocação de novos painéis fotovoltaicos;
- Considerou-se o custo de operação e manutenção estimado em R\$ 10.764,00 por ano, que foram corrigidos pela média do IGPM dos últimos 12 anos (2004 a 2015) para a composição do fluxo de caixa do investimento, resultando em uma média de reajuste de 6,36%;
- Foi considerada a troca dos inversores no 10º ano de operação, uma vez que a vida útil destes equipamentos é de 10 anos. Para a análise financeira, foi utilizada a cotação atual

¹⁹ Dados do IBGE acessado em:

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultseriesHist.shtm

dos inversores, corrigindo este valor com base na média dos últimos 12 anos do IGPM, ou seja, 6,36%;

- De acordo com os dados fornecidos pela VILCO Engenharia, o orçamento total inicial para implantação desta CGF, conforme tabela 7 a seguir, foi de R\$1.615.102,05. Todos os equipamentos importados foram cotados com base no catálogo de preços de janeiro e fevereiro de 2016 da empresa vendedora, considerando-se o dólar comercial a preço de compra no valor médio de R\$ 4,015;

Tabela 7: Orçamento do Investimento Inicial

Composição do Investimento Inicial	Unidades	Origem	Valor R\$
Módulos Fotovoltaicos	900	Importados	R\$ 672.435,00
Conjunto de Inversores	6		R\$ 156.432,72
Cabos Elétricos Baixa Tensão DC 6 mm	1440		R\$ 5.803,20
Estrutura Metálica	38	Nacionais	R\$ 204.107,50
Transformador, Cubículo Média Tensão, Cabos e Materiais Elétricos	-		R\$ 117.757,50
Cubículo da Subestação	1		R\$ 55.000,00
Serviços, Obras Cíveis, Elétricas e Mecânicas	-		R\$ 225.216,88
Projeto Executivo e Acompanhamento de Obra	-		R\$ 166.381,89
Frete			R\$ 11.967,36
TOTAL			R\$ 1.615.102,05

Fonte: Autor; dados da VILCO Engenharia, 2016.

- Foram analisadas linhas de financiamento disponíveis pelo Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul (BRDE) em convênio com o BNDES. A modalidade de financiamentos aplicada foi a FINAME, esta que visa apoiar projetos de financiamento para micro, pequena, média empresa, empreendedor individual ou transportadores autônomos que pretendem adquirir máquinas, equipamentos e veículos novos. Esta linha financia até 70% dos itens financiáveis, de acordo com análise econômico-financeira da empresa;
- O custo total dos itens financiáveis foi de R\$ 564.356,27, uma vez que se excluiu os itens importados e o frete, contudo, foi financiado apenas 70% deste valor, com uma amortização constante e taxa de juros simples;
- A taxa de juros utilizada por este financiamento foi de 6,20% a.a. e a Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) foi considerada em 7,5% a.a., totalizando 13,70% a.a.;
- O prazo de pagamento utilizado nesta simulação foi de 60 meses, com 6 meses de carência;

- Foi simulado também outro financiamento nesta mesma linha, considerando a mesma taxa de juros e o mesmo prazo para pagamento, relacionado à troca dos inversores no 10º ano de operação da planta, embora sabe-se que estas condições de financiamento poderão se alterar durante este período de 10 anos;
- A seguir, pode-se observar na tabela 8, as parcelas anuais dos dois financiamentos descritos acima. Vale destacar que os anos não listados no período de 2016 a 2041 não possuem nenhuma parcela a ser paga.

Tabela 8: Parcelas Anuais dos Financiamentos

Ano	Investimento Inicial	Substituição dos Inversores
2016	R\$ 22.550,74	R\$ 0,00
2017	R\$ 130.001,12	R\$ 0,00
2018	R\$ 125.373,31	R\$ 0,00
2019	R\$ 113.346,25	R\$ 0,00
2020	R\$ 101.319,19	R\$ 0,00
2021	R\$ 53.548,70	R\$ 0,00
2026	R\$ 0,00	R\$ 11.576,63
2027	R\$ 0,00	R\$ 66.737,28
2028	R\$ 0,00	R\$ 64.361,55
2029	R\$ 0,00	R\$ 58.187,35
2030	R\$ 0,00	R\$ 52.013,15
2031	R\$ 0,00	R\$ 27.489,72
TOTAL	R\$ 546.139,32	R\$ 280.365,69

Fonte: Autor; dados da VILCO Engenharia, 2016.

- O tempo de retorno do investimento (*payback*) exigido pelo investidor neste estudo de caso foi de 12 anos;

4.2 CONCEITOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

Para analisar a viabilidade de um investimento em determinado empreendimento é necessário seguir duas perspectivas básicas: a análise econômica e análise financeira. Contudo, são análises que devem ser realizadas em conjunto, permitindo ter uma visão geral da tomada de decisão do investimento.

A decisão de se realizar um investimento é complexa pois depende de inúmeros fatores. Um investimento, para uma empresa, são recursos de capital aplicados visando gerar um fluxo de

benefícios futuros. A decisão de investir este capital envolve a avaliação de diversas alternativas por meio de técnicas de análise de investimento (SOUZA; CLEMENTE, 1997).

4.2.1 Análise Financeira

A viabilidade econômica relaciona-se com os recursos financeiros existentes para executar um projeto, visto que, por meio das receitas espera-se obter ganhos que justifiquem o investimento. Por meio de informações financeiras de um empreendimento, o projeto de investimento é analisado, podendo seu resultado ser viável ou inviável do ponto de vista econômico (HIRSCHFELD, 1989).

Segundo Hirschfeld (1989), sob a perspectiva financeira analisam-se os fluxos de caixa previstos para o empreendimento bem como as taxas de juros e de desconto utilizadas. Analisando-se a viabilidade financeira, é importante que se faça uma previsão de recursos necessários para implantar um negócio, por meio de cálculo dos custos envolvidos para a implantação e funcionamento do projeto. Desta forma, analisa-se a origem dos recursos financeiros para a implantação do investimento, e financiamento do mesmo, se for o caso.

Para que o estudo de viabilidade econômico-financeira se aproxime ao máximo da realidade, é importante partir de um cenário real, dispor de um bom modelo matemático para calcular os indicadores e interpretá-los, com critérios particulares de decisão. Contudo, deve ser levado em conta que no decorrer do tempo as condições econômicas de mercado podem mudar, criando dificuldades à implantação do projeto.

Os métodos tradicionais utilizados na avaliação econômico-financeira são:

- Valor Presente Líquido (VPL);
- Taxa Interna de Retorno (TIR);
- *Payback*;
- Índice de Lucratividade (IL).

4.2.1.1 Amortização de Dívidas

A disponibilidade de recursos é um fator decisivo para a realização de um investimento. A falta destes recursos faz com que o investidor necessite fazer empréstimos, valor este que será restituído à determinada instituição acrescido de sua remuneração, ou seja, dos juros. As formas de devolução do valor principal financiado e os juros é denominado Sistemas de Amortização

(CASAROTTO FILHO; HARTMUT KOPITTKE, 1998). Os principais sistemas de amortização serão descritos a seguir.

- Sistema Francês de Amortização (Price)

Este sistema de amortização considera que a dívida é saldada em prestações compostas de uma parcela de juros e outra parcela de amortização. Esta parcela da amortização corresponde à parcela da prestação, que é descontada do valor principal financiado. Desta forma, a parcela de juros decresce no tempo e a parcela de amortização aumenta (CASAROTTO FILHO; HARTMUT KOPITTKE, 1998).

- Sistema de Amortização Constante (SAC)

Este sistema de amortização é muito utilizado em financiamentos de longo prazo e utiliza a amortização constante, ou seja, seu valor é obtido dividindo-se o valor principal financiado pelo número de prestações. Assim, o valor da prestação é composto pela amortização somada ao valor dos juros, estes que diminuem com o passar do tempo, fazendo com que o saldo devedor diminua linearmente. O saldo devedor é obtido subtraindo-se o valor da amortização do valor principal, multiplicando-se pelo número de prestações pagas (CASAROTTO FILHO; HARTMUT KOPITTKE, 1998).

4.2.1.2 Períodos de Carência

A concessão de períodos de carência pelas instituições financeiras permite ao investidor pagar apenas o valor dos juros durante este período, enquanto que o valor principal financiado permanece constante (CASAROTTO FILHO; HARTMUT KOPITTKE, 1998).

4.2.1.3 Taxa de Juros

A SELIC é a taxa básica de juros da economia brasileira, utilizada como referência para o cálculo das demais taxas de juros cobradas pelo mercado.

Todo financiamento exige uma taxa de juros, pois ela é a remuneração do capital. A taxa de juros simples é constante e incide apenas sobre o capital emprestado. Já a taxa de juros

compostos, apesar de ser constante por período, possui a base variável, assim esta taxa incide sobre o capital atualizado, ou seja, sobre o capital original somado (incorporado) aos juros acumulados até o mês anterior. Depois de cada mês, os juros são somados à dívida anterior e passam a render juros para o mês seguinte (CASAROTTO FILHO; HARTMUT KOPITKE, 1998).

4.2.2 Análise Econômica

Segundo Sandoval de Vasconcelos e Troster (1998), a palavra economia tem origem grega, sendo *oikos* (casa) e *nomos* (norma, lei), podendo ser generalizada como “administração da coisa pública”. Assim, a economia é uma ciência social que estuda as decisões pelas quais o homem empenha recursos escassos, visando atender às necessidades de consumo.

A escassez dos recursos surge pelas ilimitadas necessidades humanas que surgem devido a contínua elevação do padrão de vida e evolução tecnológica e também devido à restrição física de recursos ou fatores de produção, como por exemplo: terras, capital, mão-de-obra, matérias primas (SANDOVAL DE VASCONCELOS; TROSTER, 1998).

De acordo com Sandoval de Vasconcelos e Troster (1998), em avaliação de projetos de investimento podem ser avaliadas as externalidades, ou, economias externas, que é a diferença entre a ótica privada e a ótica social. Na ótica privada é realizada a avaliação financeira, específica de uma empresa, enquanto que na ótica social é realizada uma avaliação de custos (externalidade negativa) ou benefícios (externalidade positiva) derivados da produção de uma empresa para a sociedade.

Externalidades positivas são assim consideradas quando o valor de determinado serviço excede o seu valor privado, muitas vezes proporcionado pelo Estado, que passa a corrigir falhas de mercado por meio de subsídios, gerando as externalidades positivas. Tanto os formuladores de políticas públicas quanto os agentes privados reagem às externalidades e as soluções têm por objetivo alocar os recursos o mais próximo do ótimo social (MANKIW, 2009).

4.2.2.1 Métodos de Análise de Investimentos

Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A TMA é um percentual de correção do dinheiro no tempo que serve de limite para a aceitação sobre o retorno de um investimento, onde dado um investimento inicial, os retornos previstos dos períodos seguintes têm a taxa mínima de atratividade aplicada para descontar no seu valor presente, e desse modo descobrir o período mínimo de retorno com os fluxos de caixa percebidos (BORDEAUX-RÊGO et al., 2006).

Os fluxos de caixa futuros são descontados a taxas de juros compostos para o valor presente usando a taxa mínima de atratividade, que pode ser alguma taxa de mercado que sirva de referência para a análise de um investimento, tal como a taxa SELIC, o índice de inflação IPCA, o índice de inflação INPC, uma taxa média de variação cambial ou um percentual especulativo qualquer (BORDEAUX-RÊGO et al., 2006).

A taxa mínima de atratividade é uma taxa de retorno minimamente requerida pelo investidor, o que significa que se o investimento remunerar abaixo da taxa mínima de atratividade, o investimento não é realizado (BROM; BALIAN, 2007).

Contudo, a taxa de atratividade deve incluir o *spread*, uma taxa adicional de risco que varia conforme as condições conjunturais – risco sistemático – e conforme os aspectos específicos de cada projeto de investimento – risco não sistemático. Portanto, a taxa mínima de atratividade reflete a relação entre retorno, risco e liquidez imposta pelo investidor (BROM; BALIAN, 2007).

Desta forma, para as empresas, a determinação da TMA é mais complexa e depende do prazo, ou também da importância estratégica das alternativas, podendo ter uma meta estratégica e mais ousada nos investimentos de longo prazo (CASAROTTO FILHO; HARTMUT KOPITKE, 1998).

A taxa mínima de atratividade está associada ao Custo de oportunidade, uma vez que o investidor pode comparar custos e benefícios de possibilidades alternativas à determinada ação. Às vezes os custos não são tão claros, por isso há que se levar em conta o custo de oportunidade, este que é aquilo que você abre mão para obter algum item (MANKIW, 2008).

O custo de oportunidade em razão de uma escolha é o custo indireto no qual o tomador de decisão incorre ao de abdicar do benefício marginal devido a outra possível alternativa. Em termos gerais, a taxa de juros mede o custo de oportunidade dos recursos, ou seja, o valor dos usos alternativos do capital (VARIAN, 2006).

O Custo de oportunidade do investimento representa a perda da remuneração por aplicações financeiras, como por exemplo a remuneração pela poupança, títulos públicos ou outros investimentos (BORDEAUX-RÊGO et al., 2006).

Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido é um método de avaliação de fluxos de caixas descontados, proporcionando uma comparação entre o valor do investimento e o valor dos retornos esperados, na forma de fluxo de caixa líquido (BROM; BALIAN, 2007).

Vale destacar que a análise de investimento é realizada do ponto de vista do investidor, com base nos recursos desembolsados por este e na expectativa de obtenção de retornos futuros (BROM; BALIAN, 2007).

Conforme Apêndice, o cálculo do VPL pode resultar em três possíveis situações:

- $VPL < 0$: rejeita-se o projeto de investimento, uma vez que os retornos não cobrirão o capital investido somado ao retorno mínimo exigido pelo investidor;
- $VPL = 0$: o projeto de investimento apresenta-se indiferente, pois não oferece qualquer vantagem além de cobrir o capital investido acrescido do retorno mínimo exigido pelo investidor;
- $VPL > 0$: aceita-se o projeto de investimento pois os retornos oferecidos cobrirão o capital investido somado ao retorno mínimo exigido pelo investidor.

Desta forma, um valor presente líquido positivo significa que o projeto foi capaz de gerar valor além dos recursos investidos, superando uma dada taxa mínima de atratividade e podendo ser um investimento atrativo ou compensador (BORDEAUX-RÊGO et al., 2006).

Taxa Interna de Retorno (TIR)

Em um sentido geral, a TIR é a taxa em que, empregada como a taxa de desconto no cálculo do VPL faz com que seu valor fique igual a zero. Em outras palavras, a taxa interna de retorno representa a média periódica de retorno de um projeto que possa repor, de forma integral e exata, o investimento realizado (BROM; BALIAN, 2007).

Assim, a TIR iguala as saídas e as entradas de um investimento realizado, produzindo um VPL igual a zero, conforme Apêndice.

Segundo Bordeaux-Rêgo et al. (2006), a relação da taxa interna de retorno com a Taxa Mínima de Atratividade e o Valor Presente Líquido pode ocorrer das seguintes maneiras:

- $TIR < TMA$; VPL é negativo, então rejeita-se o investimento pois o projeto não é capaz de devolver o capital investido, rejeitando-se o investimento;

- $TIR = TMA$; VPL será igual a zero, então é indiferente realizar ou não o investimento;
- $TIR > TMA$; VPL é positivo e o projeto é atrativo por retornar o capital investido além de outro valor adicional, aceitando-se o investimento.

Payback

As principais metodologias de cálculo do *Payback* podem ser consideradas *Payback* Simples e *Payback* Descontado (BROM; BALIAN, 2007).

- *Payback* Simples: É o tempo necessário para que determinado investimento seja recuperado, ou seja, que retorne ao investidor;
- *Payback* Descontado: É o tempo necessário para que determinado projeto recupere o investimento realizado, somado ao retorno mínimo exigido pelo investidor.

Os cálculos estão demonstrados no Apêndice e a regra para a decisão pelo método de *payback* ocorre da seguinte maneira:

- Aceita: se o investimento se pagar dentro do prazo estabelecido pelo investidor;
- Rejeita: se o investimento não se pagar dentro do prazo estabelecido pelo investidor.

Índice de Lucratividade

O Índice de Lucratividade é uma medida relativa entre o valor presente dos fluxos de caixa recebidos e o investimento inicial (BORDEAUX-RÊGO et al., 2006).

Segundo Bordeaux-Rêgo et al. (2006), o resultado do Índice de Liquidez, demonstrado no Apêndice, deve ser avaliado desta maneira:

- $IL > 1$: Aceita-se, pois significa que o investimento será remunerado pelo menos com a taxa mínima exigida;
- $IL = 1$: Aceita-se, pois significa que a soma dos Fluxos de Caixa produzidos, descontados pela taxa escolhida, será pelo menos igual ao investimento inicial;
- $IL < 1$: Rejeita-se, pois significa que o investimento não será recuperado.

4.2.2.2 Custos do Investimento

De acordo com Casarotto Filho e Kopittke (1998), estes custos são classificados em investimento fixo e investimento de giro.

O investimento fixo representa os equipamentos, montagem de projetos e instalações industriais. O investimento de giro por sua vez representa o capital adicional necessário para a operação de equipamentos, podendo ocorrer em vários anos, seguindo cronogramas de desembolsos (CASAROTTO FILHO; HARTMUT KOPITKE, 1998).

4.2.2.3 Riscos do Investimento

O risco conceitua-se pela incerteza na realização de determinado investimento ter sucesso ou fracasso e pode, de alguma maneira, ser quantificado. O risco assumido em uma tomada de decisão empresarial divide-se em Risco sistemático e Risco não sistemático. O risco total de um investimento é composto por estes dois tipos de riscos e quanto maior for o risco não sistemático, maior tende a ser a exigência de retorno que compense esta exposição mais elevada (BROM; BALIAN, 2007).

Risco Sistemático

O risco sistemático é um risco oriundo de problemas macroeconômicos, sociais e políticos, aos quais se sujeitam os investidores. Estes eventos são representados por variáveis não controladas e que podem representar grandes ameaças que independem da vontade de um investidor ou de uma empresa (BROM; BALIAN, 2007).

Risco Não Sistemático

O risco não sistemático é um risco específico de determinado projeto de investimentos. São exemplos de riscos não sistemáticos: erro em uma decisão empresarial, baixa produtividade, produtos mal desenvolvidos e ameaças pela concorrência (BROM; BALIAN, 2007).

4.2.2.4 Fluxo de Caixa

O Fluxo de Caixa é uma ferramenta muito importante para a análise do investimento, uma vez que por meio deste o investidor pode observar as entradas e saídas efetivas de dinheiro ao longo do tempo, possibilitando verificar a rentabilidade e a viabilidade econômica de um projeto. (BORDEAUX-RÊGO et al., 2006).

Desta forma, Fluxo de Caixa é um instrumento de gestão financeira que projeta para períodos futuros as receitas e gastos de recursos financeiros da empresa, indicando como será o saldo de caixa em determinado período projetado. Por meio das informações do fluxo de caixa o empresário pode calcular a Rentabilidade, a Lucratividade e o prazo de retorno do investimento.

4.2.2.5. Outros fatores a se considerar

Depreciação

Depreciação é a perda de valor de determinado bem, seja por deterioração ou por obsolescência. A depreciação contábil é feita de forma linear, de modo que o valor do bem deprecie anualmente. Contudo, na maioria das vezes a depreciação é conduzida por uma curva exponencial, tendo uma queda acentuada nos primeiros anos e mais suave nos anos posteriores (CASAROTTO FILHO; HARTMUT KOPITTKKE, 1998).

Inflação

Em uma análise de investimentos geralmente os cálculos são realizados sem levar em conta a inflação. Contudo, para não haver necessidade suplementar de capital de giro devido aos aumentos de inflação, seria prudente que as empresas considerassem os valores da inflação nos preços das vendas a prazo (CASAROTTO FILHO; HARTMUT KOPITTKKE, 1998).

Em uma situação de inflação muito alta, esta deveria ser considerada na análise de investimentos, contudo às vezes é muito difícil prever aumentos diferenciados em preços para o longo prazo. Mesmo assim, em situações de inflação, é possível se fazer algumas considerações no VPL e TIR, por meio de uma estimativa de inflação para chegar ao valor de VPL Real e TIR Real (CASAROTTO FILHO; HARTMUT KOPITTKKE, 1998).

Neste caso, de acordo com Casarotto Filho e Harmut Kopittke (1998), os fluxos de caixa são sujeitos à reajustes, ou seja, os valores apresentados a determinado preço hoje devem ser

corrigidos monetariamente quando haverá pagamento ou recebimento futuro. Desta forma, ano a ano o fluxo de caixa a preços de hoje seria corrigido a preços correntes, possibilitando encontrar o VPL e a TIR com a taxa de inflação embutida.

5 APLICAÇÃO DA ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA: ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, analisa-se a viabilidade econômico-financeira da implantação de uma Central de Geração Fotovoltaica em Santa Catarina, Brasil. Realiza-se uma análise de sensibilidade do retorno financeiro diante de diferentes cenários, com a variação: da taxa de juros da parcela financiável; da taxa de câmbio sobre os insumos do projeto e do reajuste tarifário de energia elétrica sobre o consumo de energia. Analisa-se também as externalidades geradas pela realização deste investimento.

5.1 ANÁLISE FINANCEIRA

Considerando-se as premissas deste estudo de caso, citadas anteriormente em 4.1, foi estimado o custo de energia elétrica com e sem geração de energia, no intuito de verificar qual seria a economia na fatura de energia, por meio da implantação da CGF.

Na tabela 9 a seguir, demonstra-se a atual quantidade de energia em kWh consumida pela empresa industrial e a fatura em reais (R\$), pelo uso desta energia da distribuidora. Desta forma, durante o período de operação da CGF não foram considerados aumento nas instalações de produção envolvendo adição de máquinas e equipamentos, aumento este que demandaria maior uso de energia elétrica.

Para o ano de 2016 considerou-se o período de operação da CGF de agosto a dezembro e no ano de 2041 considerou-se o período de operação de janeiro a julho, por isso os valores apresentados diferenciam-se significativamente dos demais anos.

As tarifas de energia elétrica foram reajustadas anualmente em 7%, por isso os valores das faturas de energia elétrica (com e sem geração de energia solar fotovoltaica) estão aumentando ao longo do período.

O consumo de energia elétrica da distribuidora, por sua vez, aumenta ao longo do tempo, uma vez que no decorrer do período considerado a CGF diminuirá a produção de energia solar, pela depreciação das placas fotovoltaicas.

Conforme valores que constam na coluna de Energia Gerada, foi considerada a depreciação das placas fotovoltaicas, além de um fator de perda de energia, implicando na redução da geração de energia ao longo do período.

Pode-se observar que durante o período de geração de energia, e sem considerar o Investimento inicial, a economia nas faturas de Energia Elétrica foi estimada em R\$

8.784.076,50, ou, uma média anual de R\$ 337.849,10, resultando em uma economia média de 43,55% no custo com energia elétrica para a empresa industrial ao longo deste período.

Tabela 9: Economia Prevista na Fatura de Energia Elétrica

Ano	Sem Geração de Energia		Energia Gerada (kWh)	Com Geração de Energia		Economia na Fatura de Energia	
	Consumo de Energia Elétrica da Distribuidora (kWh)	Fatura de Energia Elétrica (R\$)		Consumo de Energia Elétrica da Distribuidora (kWh)	Fatura de Energia Elétrica (R\$)		
						R\$	%
2016 *	194.518,00	144.963,66	160.425,29	35.923,31	74.228,00	70.735,66	48,80
2017	425.609,00	329.037,23	356.277,45	80.566,45	168.150,51	160.886,72	48,90
2018	425.609,00	352.069,84	353.440,02	82.799,43	181.086,32	170.983,52	48,57
2019	425.609,00	376.714,73	350.414,75	85.151,99	194.725,15	181.989,58	48,31
2020	425.609,00	403.084,76	347.547,90	87.389,90	210.539,35	192.545,40	47,77
2021	425.609,00	431.300,69	344.681,05	89.632,92	226.520,03	204.780,66	47,48
2022	425.609,00	461.491,74	341.814,20	91.970,56	244.511,99	216.979,75	47,02
2023	425.609,00	493.796,16	338.947,34	94.334,15	264.170,47	229.625,69	46,50
2024	425.609,00	528.361,89	336.080,49	96.755,88	283.302,19	245.059,70	46,38
2025	425.609,00	565.347,23	333.213,64	99.173,31	305.807,80	259.539,43	45,91
2026	425.609,00	604.921,53	330.534,17	101.417,28	330.276,35	274.645,18	45,40
2027	425.609,00	647.266,04	328.081,52	103.485,72	354.898,01	292.368,03	45,17
2028	425.609,00	692.574,66	325.624,79	105.557,31	383.400,22	309.174,44	44,64
2029	425.609,00	741.054,89	323.168,07	107.628,91	412.056,43	328.998,46	44,40
2030	425.609,00	792.928,73	320.711,35	109.700,50	442.406,36	350.522,37	44,21
2031	425.609,00	848.433,74	318.254,63	111.783,00	475.884,55	372.549,20	43,91
2032	425.609,00	907.824,10	315.797,91	113.936,48	513.368,12	394.455,98	43,45
2033	425.609,00	971.371,79	313.341,18	116.149,52	552.648,54	418.723,25	43,11
2034	425.609,00	1.039.367,82	310.884,46	118.383,00	595.926,64	443.441,17	42,66
2035	425.609,00	1.112.123,56	308.427,74	120.616,48	640.748,53	471.375,03	42,39
2036	425.609,00	1.189.972,21	305.971,02	122.849,96	687.809,30	502.162,91	42,20
2037	425.609,00	1.273.270,27	303.514,30	125.083,44	742.149,14	531.121,12	41,71
2038	425.609,00	1.362.399,19	301.057,57	127.316,92	797.205,58	565.193,60	41,49
2039	425.609,00	1.457.767,13	298.600,85	129.550,40	858.507,85	599.259,28	41,11
2040	425.609,00	1.559.810,83	296.144,13	131.783,88	924.479,22	635.331,61	40,73
2041 **	231.091,00	882.217,06	162.481,36	265.233,41	520.588,32	361.628,75	40,99
Total	10.640.225,00	20.169.471,49	8.125.437,18	2.659.646,10	11.385.394,99	8.784.076,50	43,55
Média	409.239,42	775.748,90	312.516,81	102.294,08	437.899,81	337.849,10	

Fonte: Autor; dados da VILCO ENGENHARIA, 2016²⁰.

A seguir, na tabela 10, pode-se analisar o fluxo de caixa do investimento. Sua composição foi elaborada considerando-se um fluxo negativo referente ao investimento inicial correspondente: aos módulos fotovoltaicos importados (R\$ 672.435,00), aos inversores importados (R\$156.432,72), aos materiais elétricos importados (R\$5.803,20), ao frete (R\$11.967,36), aos suportes metálicos produzidos pela empresa industrial para instalação dos painéis solares (R\$204.107,50), a primeira parcela do financiamento (R\$ 22.550,74) dos itens financiáveis, a 30% do valor não financiado (R\$169.306,88) e ao custo de Operação e

²⁰ Valores demonstrados no ano 2016 e 2041 representam, respectivamente, valores correspondentes a 5 e 6 meses, não representando, portanto, valores do ano todo.

Manutenção da CGF no primeiro ano de operação (R\$10.764,00) totalizando um investimento inicial de R\$ 1.242.603,40.

O custo anual de Operação e Manutenção da CGF é subdividido em: seguro da CGF (52%), Controle Operacional (33%) e Outros Custos de O&M (15%), como por exemplo reposição de placas, dentre outros materiais elétricos. No fluxo de caixa, para os anos seguintes, o Custo de O&M foi atualizado pela média do IGMP dos últimos 12 anos.

Para os anos seguintes, foi incluída a soma anual das parcelas dos financiamentos, demonstradas na coluna “Investimento” (em 2016 seria realizado outro financiamento para a troca dos inversores) e o custo de O&M corrigidos anualmente na coluna “Custo de O&M”.

A partir do primeiro ano de funcionamento, passou a ser considerado o fluxo positivo, referente ao benefício gerado pela planta solar, representado em termos de “Economia na fatura de energia”.

Foi incluído também um fluxo de caixa negativo referente ao pagamento da Fatura de Energia Elétrica da energia utilizada da distribuidora, ao longo do período.

O resultado do Fluxo de Caixa do Investimento no primeiro ano foi negativo e o Fluxo de Caixa Acumulado manteve-se negativo nos primeiros nove anos, demonstrando rentabilidade a partir do ano 2025 e proporcionando um resultado estimado de R\$ 6.029.509,84 no ano de 2041.

Tabela 10: Fluxo de Caixa do Investimento

Ano	Investimento (R\$)	Custo de O&M (R\$)	Economia na Fatura de Energia (R\$)	Fatura de Energia Elétrica com Geração (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa Acumulado (R\$)
2016	-1.242.603,40	-10.764,00	70.735,66	-74.228,00	-1.182.631,74	-1.182.631,74
2017	-130.001,12	-11.448,23	160.886,72	-168.150,51	19.437,37	-1.163.194,37
2018	-125.373,31	-12.175,96	170.983,52	-181.086,32	33.434,25	-1.129.760,12
2019	-113.346,25	-12.949,94	181.989,58	-194.725,15	55.693,39	-1.074.066,73
2020	-101.319,19	-13.773,13	192.545,40	-210.539,35	77.453,08	-996.613,65
2021	-53.548,70	-14.648,64	204.780,66	-226.520,03	136.583,32	-860.030,33
2022	0,00	-15.579,80	216.979,75	-244.511,99	201.399,95	-658.630,38
2023	0,00	-16.570,16	229.625,69	-264.170,47	213.055,53	-445.574,85
2024	0,00	-17.623,47	245.059,70	-283.302,19	227.436,23	-218.138,62
2025	0,00	-18.743,74	259.539,43	-305.807,80	240.795,69	22.657,07
2026	-98.491,89	-19.935,21	274.645,18	-330.276,35	156.218,08	178.875,15
2027	-66.737,28	-21.202,43	292.368,03	-354.898,01	204.428,32	383.303,47
2028	-64.361,55	-22.550,19	309.174,44	-383.400,22	222.262,69	605.566,16
2029	-58.187,35	-23.983,64	328.998,46	-412.056,43	246.827,47	852.393,63
2030	-52.013,15	-25.508,20	350.522,37	-442.406,36	273.001,02	1.125.394,65
2031	-27.489,72	-27.129,67	372.549,20	-475.884,55	317.929,81	1.443.324,46
2032	0,00	-28.854,21	394.455,98	-513.368,12	365.601,77	1.808.926,23
2033	0,00	-30.688,37	418.723,25	-552.648,54	388.034,87	2.196.961,11
2034	0,00	-32.639,13	443.441,17	-595.926,64	410.802,04	2.607.763,15
2035	0,00	-34.713,89	471.375,03	-640.748,53	436.661,14	3.044.424,29
2036	0,00	-36.920,54	502.162,91	-687.809,30	465.242,38	3.509.666,66
2037	0,00	-39.267,46	531.121,12	-742.149,14	491.853,67	4.001.520,33
2038	0,00	-41.763,56	565.193,60	-797.205,58	523.430,05	4.524.950,38
2039	0,00	-44.418,33	599.259,28	-858.507,85	554.840,95	5.079.791,33
2040	0,00	-47.241,85	635.331,61	-924.479,22	588.089,76	5.667.881,09
2041	0,00	0,00	361.628,75	-520.588,32	361.628,75	6.029.509,84
Total	-2.133.472,93	-621.093,74	8.784.076,50	-11.385.394,99	-	-

Fonte: Autor, dados da pesquisa, 2016.

Para a realização da Análise Financeira, utilizou-se a TMA baseada na maior rentabilidade anual do ano 2015, dos Títulos Públicos Federais, esta que foi registrada pelos títulos atrelados à taxa SELIC (LFT) e fecharam em dezembro de 2015 em 13,27%, de acordo com a *Advanced Financial Network*²¹ (ADVFN, 2016).

De acordo com a tabela 11 abaixo, no final dos 25 anos de geração de energia, o lucro total estimado obtido, em valor futuro, foi de R\$ 6.029.509,84.

O VPL obtido foi de R\$ 24.656,79, considerando uma TMA de 13,27% (Rentabilidade dos Títulos Públicos LFT em 2015), indicando a viabilidade do investimento.

O *Payback* estimado foi de 10 anos, o que significa que em 10 anos este investimento seria recuperado ao investidor.

²¹ ADVFN foi lançada no Brasil em 2006 e é uma plataforma de referência no Mercado Financeiro Brasileiro. Os dados desta rentabilidade foram acessados dia 10 de Março de 2016 em: <http://br.advfn.com/jornal/2016/01/tesouro-direto-rentabilidade-dos-titulos-publicos-federais-em-dezembro-de-2015>

A TIR estimada foi de 13,47%, ficando maior que a TMA e, portanto, indica que o projeto é atrativo por retornar o capital investido além do percentual de retorno exigido, o que leva a aceitar o investimento.

O Índice de Lucratividade foi de 1,02, portanto o investimento é atrativo, ou seja, o investimento será remunerado pelo menos com a taxa mínima de atratividade exigida.

Tabela 11: Resultados da Análise Econômico-financeira

TMA	Rentabilidade	VPL	TIR	IL	Payback (Anos)
13,27%	R\$ 6.029.509,84	R\$ 24.656,79	13,47%	1,02	10

Fonte: Autor.

Considerando as premissas descritas anteriormente e os resultados obtidos, conclui-se que este investimento é economicamente viável.

5.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Considerando-se o fato de que há incertezas futuras a respeito dos fluxos de caixa projetados, é interessante realizar uma análise de sensibilidade, no intuito de verificar os efeitos da variação de algumas variáveis que compõem a análise de investimento.

A análise de sensibilidade é utilizada para casos em que poucos componentes do fluxo de caixa estejam sujeitos a um grau de aleatoriedade. Para fazer a variação, é necessário aplicar em uma variável de cada vez, verificando quão sensível é a variação do VPL e de outros métodos de análise de investimento (SOUZA; CLEMENTE, 1997).

Para esta análise, foram consideradas os seguintes cenários: variação na taxa de câmbio, variação na taxa de juros da parcela financiável e variação nas tarifas de energia elétrica acima da inflação.

5.2.1 Variação da Taxa de Câmbio

Analisando-se a taxa de câmbio dos últimos 10 anos, de 2006 a 2015, observa-se que houve uma variação de R\$1,5337 a R\$4,1942. Estes valores foram pesquisados no Banco Central do Brasil (BACEN)²² e referenciam os preços de compra do dólar Americano.

Foi realizada uma análise de sensibilidade considerando o valor mínimo da taxa de câmbio até o valor máximo já registrado historicamente nos últimos dez anos, embora a taxa de câmbio provavelmente não venha a registrar valores próximos ao mínimo já registrado neste período. Conforme a tabela 12 a seguir, considerou-se também a taxa de câmbio do estudo de caso (R\$4,0150) e a taxa de câmbio limite para a realização deste investimento, *ceteris paribus*²³, foi no valor de R\$4,1030.

Pode-se observar que com uma taxa de câmbio de R\$ 4,1030 o investimento apresentaria VPL de R\$0,00 e uma TIR de 13,27%, valor que se iguala à TMA, indicando que o investidor conseguiu ter exatamente o valor esperado de rendimentos e implicando em IL de 1,00 e um *payback* de 11 anos. A partir desta taxa de câmbio (4,1030), o VPL é negativo, inviabilizando o investimento, dado que a TIR alcançada com este investimento estaria abaixo da TMA, indicando que o investidor não conseguiria obter ganhos acima do percentual mínimo exigido.

Tabela 12: Análise de Sensibilidade com base na Taxa de Câmbio

TMA	Taxa de Câmbio (\$ USA)	Rentabilidade (25 anos)	Rentabilidade Média Anual	VPL	TIR	IL	Payback (Anos)
13,27%	R\$ 1,5337	R\$ 6.898.465,03	R\$ 275.938,60	R\$ 718.844,36	22,93%	2,33	8
	R\$ 2,5000	R\$ 6.560.065,24	R\$ 262.402,61	R\$ 488.529,26	17,99%	1,57	9
	R\$ 3,5000	R\$ 6.209.863,65	R\$ 248.394,55	R\$ 168.745,45	14,75%	1,16	10
	R\$ 4,0150	R\$ 6.029.509,84	R\$ 241.180,39	R\$ 24.656,79	13,47%	1,02	10
	R\$ 4,1030	R\$ 5.998.692,10	R\$ 239.947,68	R\$ 0,00	13,27%	1,00	11
	R\$ 4,1942	R\$ 5.966.753,71	R\$ 238.670,15	-R\$ 25.480,47	13,07%	0,98	11

Fonte: Autor.

Desta forma, é de grande importância levar em consideração as condições econômicas de comércio exterior, neste caso a taxa de câmbio, na busca do melhor momento para a realização de um investimento que depende deste fator. Quanto maior for a taxa de câmbio, menor é a rentabilidade do investimento, como pode-se observar na figura 25 a seguir, a qual apresenta a

²² Os dados da taxa de câmbio foram acessados dia 17 de Maio de 2016 em:
<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpesq.asp?id=txcotacao>

²³ *Ceteris Paribus* é uma expressão que significa “outras coisas sendo iguais, constantes”.
http://www.auburn.edu/~johnspm/gloss/ceteris_paribus

rentabilidade anual, bem como a TIR e o VPL em função da taxa de câmbio, sendo a taxa de câmbio limite para a viabilidade do investimento R\$ 4,1030.

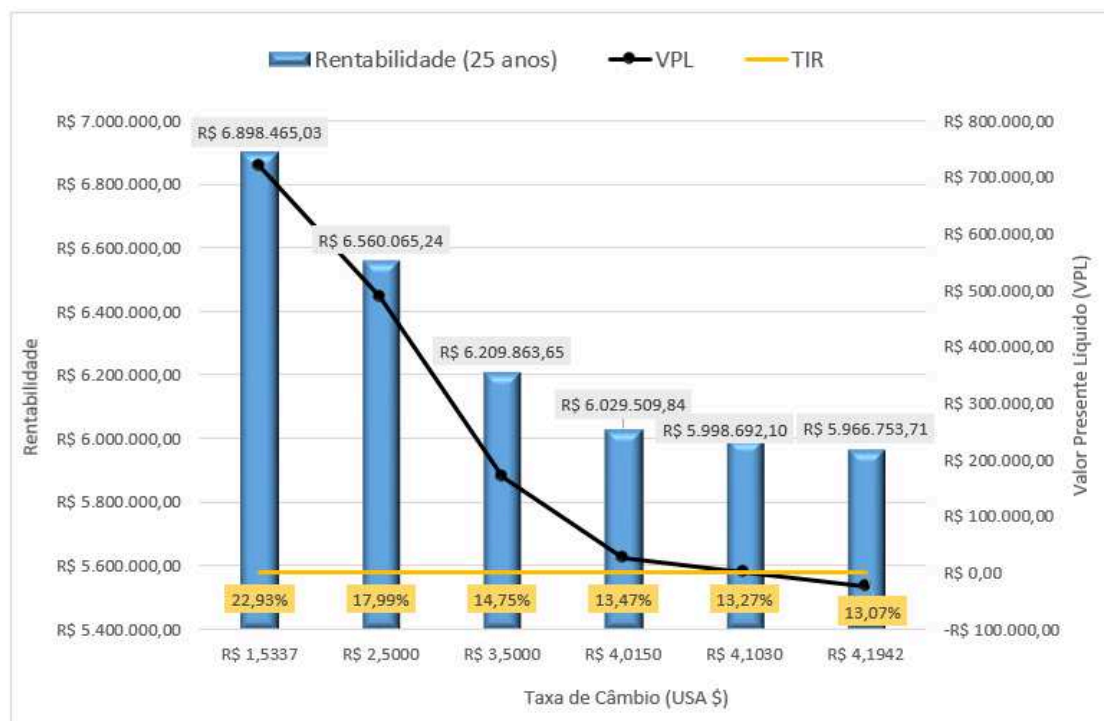


Figura 25: Análise de Sensibilidade com base na Taxa de Câmbio

Fonte: Autor.

5.2.2 Variação da Taxa de Juros

Analisando-se a taxa de Juros²⁴ do Brasil de 2006 a 2015, esta variou entre 7,12% a 17,26%. Foi realizada uma análise de sensibilidade com base neste intervalo de variação, incluindo a taxa de juros do estudo de caso (13,70%) e conforme tabela 13 a seguir, a taxa de juros limite para a viabilidade do investimento, *ceteris paribus*, foi de 16,10%, implicando em um VPL de R\$ 0,00, TIR igual ao valor da TMA, IL igual a 1 e *payback* de 11 anos.

Taxas de juros acima de 16,10% implicariam na inviabilidade do investimento, por apresentar um VPL negativo, TIR menor que a TMA e IL menor que 1.

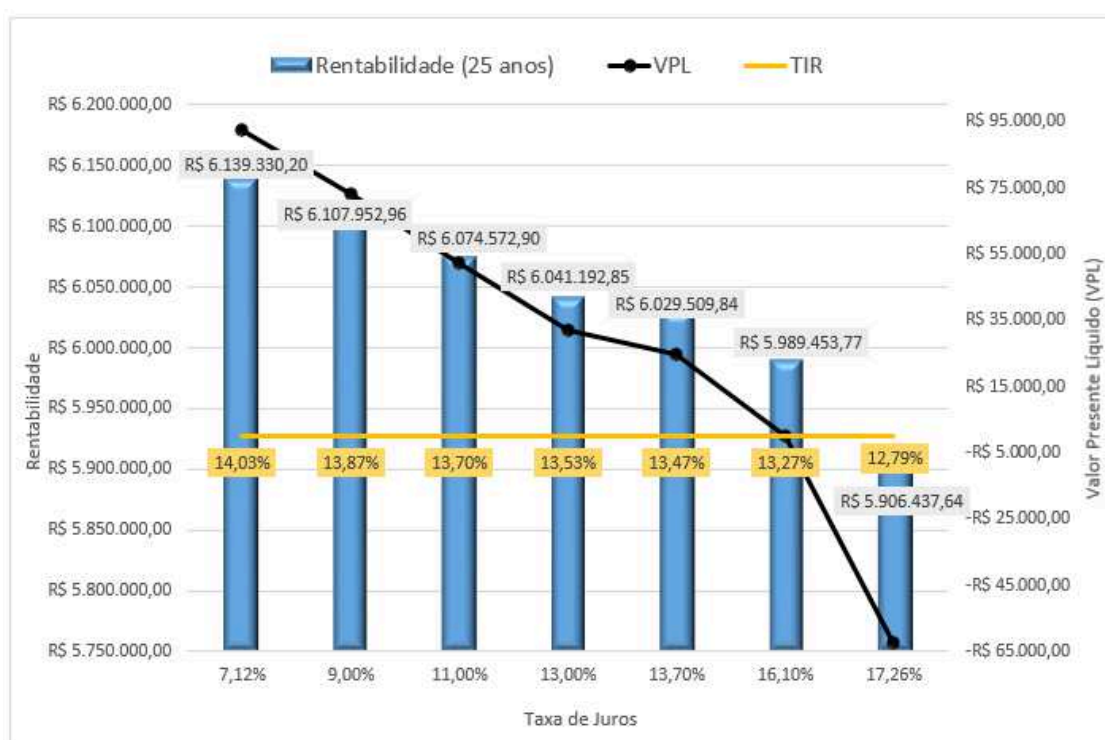
²⁴ Taxa SELIC (taxa básica e referência para a economia) fixada pelo COPOM (Comitê de Política Monetária). Os dados da taxa de juros foram acessados dia 17 de Maio de 2016 em: <http://www.bcb.gov.br/?COPOMJUROS>

Tabela 13: Análise de Sensibilidade com base na Taxa de Juros

TMA	Taxa de Juros	Rentabilidade (25 anos)	Rentabilidade Média Anual	VPL	TIR	IL	Payback (Anos)
13,27%	7,12%	R\$ 6.139.330,20	R\$ 245.573,21	R\$ 92.252,44	14,03%	1,08	10
	9,00%	R\$ 6.107.952,96	R\$ 244.318,12	R\$ 72.939,40	13,87%	1,06	10
	11,00%	R\$ 6.074.572,90	R\$ 242.982,92	R\$ 52.393,61	13,70%	1,04	10
	13,00%	R\$ 6.041.192,85	R\$ 241.647,71	R\$ 31.847,81	13,53%	1,03	10
	13,70%	R\$ 6.029.509,84	R\$ 241.180,39	R\$ 24.656,79	13,47%	1,02	10
	16,10%	R\$ 5.989.453,77	R\$ 239.578,15	R\$ 0,00	13,27%	1,00	11
	17,26%	R\$ 5.906.437,64	R\$ 236.257,51	-R\$ 62.262,00	12,79%	0,95	11

Fonte: Autor.

Certamente as condições econômicas e fatores como a taxa de juros devem ser avaliadas pelos investidores em tomadas de decisões. Taxas de juros menores estimulam o investimento, por proporcionarem um maior retorno financeiro, como pode-se observar na figura 26 a seguir, a qual apresenta a rentabilidade anual, bem como a TIR e o VPL em função da taxa de juros, sendo a taxa de juros limite para a viabilidade do investimento 16,10%. Taxas de juros acima deste valor inviabilizariam o investimento.

**Figura 26:** Análise de Sensibilidade com base na Taxa de Juros

Fonte: Autor.

5.2.3 Variação do Reajuste das Tarifas de Energia Elétrica

De acordo com Nakabayashi (2015), no período de 1995 a 2014, enquanto o IPCA foi de 6,4%, o reajuste médio da tarifa (sem impostos) no Brasil foi de 7,9% e para o setor industrial foi de 9,7%. O menor reajuste da tarifa de energia elétrica no setor industrial ocorreu no período de 2005 a 2012, em média 4,8%.

Desta forma, foi realizada uma análise de sensibilidade variando o reajuste das tarifas de energia elétrica de 4,8% a 9,7%, conforme tabela 14 a seguir. O reajuste aplicado no estudo de caso apresentado anteriormente foi de 7,0%, apresentando viabilidade. O Reajuste limite, *ceteris paribus*, foi de 6,85%, apresentando VPL de R\$ 0,00, TIR de 13,27%, igual à TMA e IL igual à 1, mantendo o mesmo *payback* de 10 anos. Portanto, reajustes tarifários abaixo deste valor (6,85%) inviabilizariam o investimento.

Tabela 14: Análise de Sensibilidade com base no Reajuste da Tarifa de Energia Elétrica

TMA	Reajuste Tarifa Energia Elétrica	Rentabilidade (25 anos)	Rentabilidade Média Anual	VPL	TIR	IL	Payback (Anos)
13,27%	4,80%	R\$ 3.611.066,98	R\$ 144.442,68	-R\$ 304.323,21	10,40%	0,74	12
	6,00%	R\$ 4.820.154,90	R\$ 192.806,20	-R\$ 135.954,21	12,09%	0,89	11
	6,85%	R\$ 5.841.384,12	R\$ 233.655,36	R\$ 0,00	13,27%	1,00	10
	7,00%	R\$ 6.029.509,84	R\$ 241.180,39	R\$ 24.656,79	13,47%	1,02	10
	8,00%	R\$ 7.459.280,86	R\$ 298.371,23	R\$ 206.795,15	14,83%	1,17	10
	9,00%	R\$ 9.150.989,66	R\$ 366.039,59	R\$ 413.840,80	16,16%	1,35	10
	9,70%	R\$ 10.517.085,25	R\$ 420.683,41	R\$ 575.678,20	17,09%	1,49	9

Fonte: Autor.

Vale destacar, observando a figura 27 a seguir, que quanto maior for o reajuste das tarifas de energia elétrica, maior é a rentabilidade do investimento, isso porque o investidor estaria produzindo sua própria energia, não pagando a alta tarifa de energia vendida pela concessionária; subentende-se então que a tarifa de energia mais cara é um fator importante que influencia na tomada de decisão do investidor em implantar uma CGF.

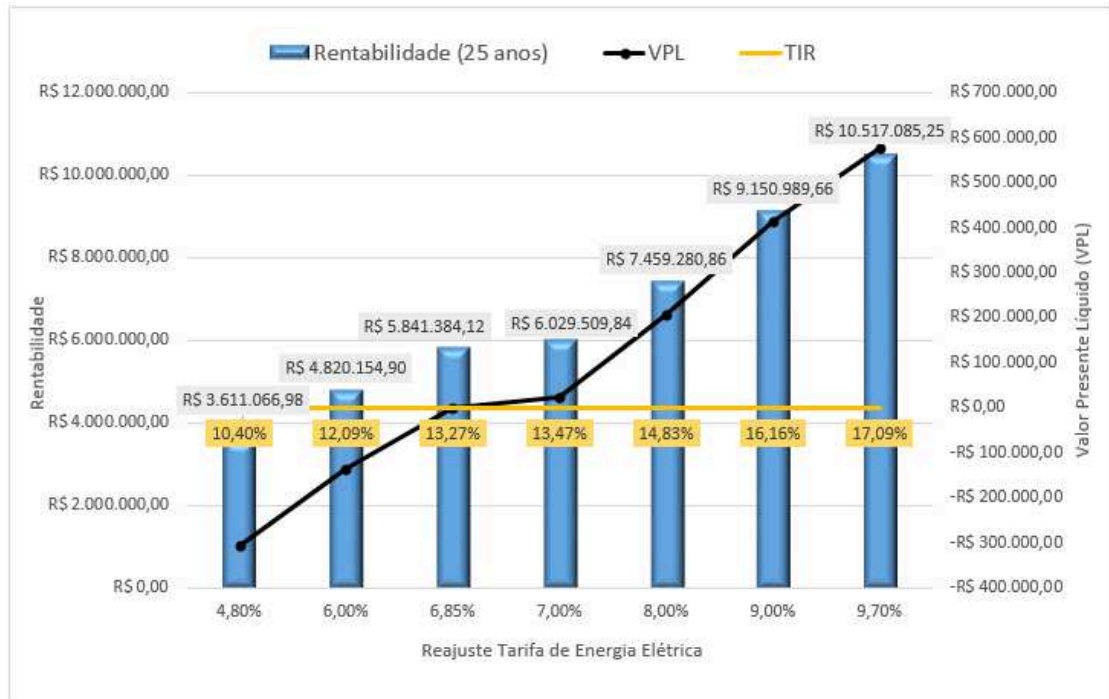


Figura 27: Análise de Sensibilidade com base no Reajuste da Tarifa de Energia Elétrica

Fonte: Autor.

Relacionando as variáveis envolvidas na análise neste estudo de caso, percebe-se que de uma maneira geral elas apresentam uma relação conforme a figura 28 a seguir.

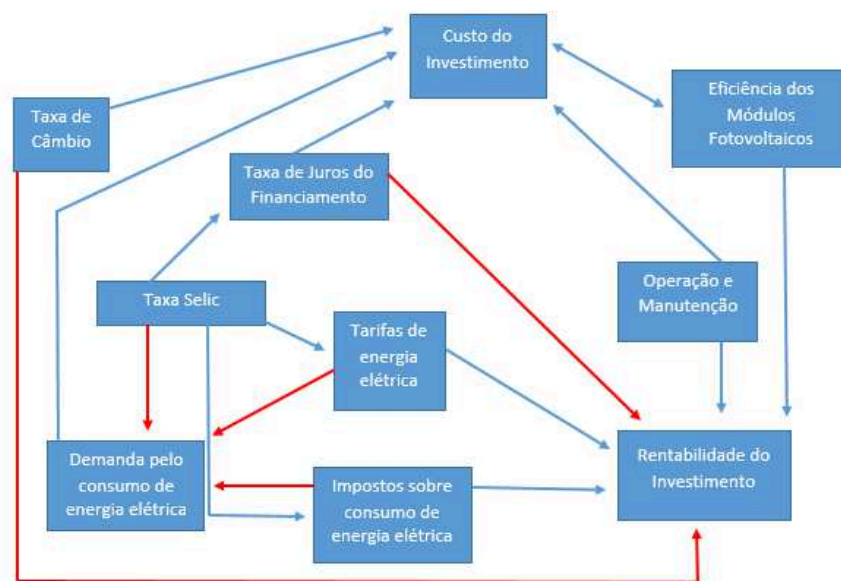


Figura 28: Relação entre as variáveis econômicas

Fonte: Autor.

O custo do Investimento é influenciado de maneira direta: pela demanda do consumo de energia elétrica, uma vez que este fator determina o tamanho do investimento a ser realizado; pela eficiência dos módulos fotovoltaicos; pela frequência de Operação e Manutenção; pela taxa de câmbio e pela taxa de juros do financiamento, esta última que é influenciada pela taxa de juros referência do mercado, a SELIC.

A taxa SELIC influencia inversamente na demanda pelo consumo de energia, uma vez que ela é parâmetro para reajustes de preços de mercado e consequentemente das tarifas de energia elétrica, freando o consumo quando estiver muito alta. Além de influenciar no preço das tarifas de energia, a taxa SELIC influencia diretamente na taxa de juros de financiamentos e nos impostos sobre o consumo de energia elétrica.

A Rentabilidade do investimento, por sua vez, é influenciada diretamente pela eficiência dos módulos fotovoltaicos e pela operação e manutenção da CGF, pois se anualmente for realizada a manutenção, melhor será o funcionamento e geração de energia solar ao longo dos anos. A rentabilidade do investimento é influenciada diretamente pelas tarifas de energia elétrica e pelos impostos sobre o consumo de energia, e, por outro lado é influenciada de modo inverso, pela taxa de juros do financiamento e pela taxa de câmbio, na compra dos insumos.

5.3 ANÁLISE ECONÔMICA E EXTERNALIDADES

Sem dúvida a realização deste investimento proporcionaria muitos empregos, por meio de uma cadeia de produção e instalação. Além disso, melhoraria o bem-estar econômico e social dos usuários diretos e indiretos da energia solar gerada, uma vez que a ampliação da matriz energética permite uma evolução em padrões de consumo e crescimento econômico.

Analisando-se o valor total dos equipamentos para implantação da CGF (R\$ 1.505.879,87), os impostos contribuídos ao Estado totalizaram R\$ 123.472,44, conforme tabela 15 a seguir, representando 8,24% do valor total do Investimento realizado.

Tabela 15: Contribuição de Impostos pela realização do Investimento

Composição do Investimento Inicial	Valor R\$	Impostos	Alíquota %	Impostos (R\$)
Módulos Fotovoltaicos	R\$ 615.219,58	Pis e Cofins	9,30	R\$ 57.215,42
Conjunto de Inversores	R\$ 143.122,34	Pis e Cofins	9,30	R\$ 13.310,38
Cabos Elétricos Baixa Tensão DC 6 mm	R\$ 5.309,42	Pis e Cofins	9,30	R\$ 493,78
Estrutura Metálica	R\$ 204.107,50	-	-	R\$ -
Transformador, Cubículo Média Tensão, Cabos e Materiais Elétricos	R\$ 93.236,34	Pis, Cofins, ICMS, IPI	26,30*	R\$ 29.182,97
Cubículo da Subestação	R\$ 43.547,11	Pis, Cofins, ICMS, IPI	26,30*	R\$ 13.630,25
Serviços, Obras Cíveis, Elétricas e Mecânicas	R\$ 225.216,88	-	-	R\$ -
Projeto Executivo e Acompanhamento de Obra	R\$ 156.742,24	IRRF, Pis, Cofins, CSLL	6,15	R\$ 9.639,65
Frete	R\$ 11.967,36	-	-	R\$ -
TOTAL	R\$ 1.498.468,77	-	-	R\$ 123.472,44

* Alíquota aproximada, podendo ter variação nas alíquotas de ICMS e IPI, de acordo com o produto e a localidade em que for adquirido.

Fonte: Autor, dados da VILCO Engenharia.

Durante todo o período de operação da CGF a geração de energia solar totalizou 8.125.437,18 kWh. A atividade que esta empresa industrial exerce demanda energia elétrica, sendo difícil a substituição por outra fonte de geração, como o gás natural ou derivados de petróleo, desta forma a energia solar é muito vantajosa, uma vez que há o benefício privado de gerá-la e a maneira de consumo não necessita de transformações, uma vez que toda a energia a ser utilizada será elétrica, inclusive a que foi gerada, que será convertida em energia elétrica.

Assim, a análise de externalidades torna-se mais ampla, de modo a se concluir que o fato desta empresa industrial deixar de consumir parte da energia elétrica da distribuidora, por estar gerando energia solar, faz com que outras empresas possam utilizar esta energia elétrica excedente. Deste modo, este investimento geraria externalidades positivas, uma vez que as emissões de CO₂ diminuiriam.

Vale destacar que há esta redução de poluição pois a parte da energia que deixou de ser consumida da distribuidora por esta empresa industrial poderá ser usada por outras empresas/indústrias que atualmente usam fontes de energia mais poluentes como por exemplo o óleo, carvão e gás natural. É importante considerar também que a substituição de uma fonte de energia não renovável por uma fonte de energia renovável depende diretamente do custo da energia, por isso, na medida em que as fontes renováveis tornam-se mais competitivas, será possível a ampliação do seu uso.

De acordo com o nível de poluição média, demonstrados na figura 4, apresentada em 2.1, o total de CO₂ emitido por este investimento de energia solar seria de 325,02 toneladas,

representando, em Créditos de Carbono, 1.904,60 euros, ou R\$495,93, considerando-se a cotação²⁵ do Crédito de Carbono e do Euro em 20 de junho de 2016.

Comparando-se a mesma quantidade de energia gerada, 8.125.437,18 kWh, contudo por fontes de energia não renováveis, as emissões de CO₂, conforme tabela 16 a seguir, seriam maiores para energia à base de Carvão, Petróleo e derivados e Gás Natural, enquanto que para a energia Nuclear seriam menores, por isso apresenta o resultado negativo.

Tabela 16: Redução Média de Poluição pelo uso da energia solar.

Fonte de Energia Solar Fotovoltaica comparada com:	Economia de Emissão de CO₂ (Toneladas)	Economia em Créditos de Carbono (EUR)	Economia (R\$)	Economia (%)
Carvão	7.800,42	EUR 45.710,46	R\$ 11.902,22	2300%
Petróleo e Derivados	6.581,60	EUR 38.568,20	R\$ 10.042,49	1925%
Gás Natural	3.656,45	EUR 21.426,78	R\$ 5.579,16	1025%
Nuclear	-48,75	-EUR 285,69	-R\$ 74,39	-115%

Fonte: Autor.

Em termos percentuais, a redução de poluição média em termos de CO₂ comparado à poluição gerada pela energia à base do Carvão é em torno de 2.300%, para Petróleo e derivados é em torno de 1.925%, para Gás Natural é em torno de 1.025% e comparando-se à energia Nuclear, apresenta uma poluição adicional em 115%. A energia nuclear, embora apresente menor geração de poluição em termos de CO₂, em comparação de energia solar, não considera nesta análise os impactos de ambos os tipos de energia quanto ao descarte dos resíduos das usinas nucleares e das CGF.

Assim, o benefício social estimado que este investimento em energia solar proporcionaria para a sociedade, seria uma redução de poluição conforme apresentado na tabela 16. Desta forma, o governo poderia criar mecanismos de incentivo ao o investidor, como por exemplo a isenção de parte dos impostos federais, estratégia que vêm sendo adotada pelos Estados Unidos desde 2006. Estas estratégias estimulariam novos investimentos, estes que gerariam benefícios privados, mas também externalidades positivas à sociedade.

²⁵ Cotações acessadas em:
<http://br.investing.com/currencies/eur-brl-historical-data>

Considerando-se a hipótese de que o Estado concedesse isenção do Total de Impostos em 30%, resultaria em uma isenção total de impostos deste projeto de investimento no valor de R\$ 37.041,73.

Portanto, com isenção fiscal, o investimento em energia solar fotovoltaica, quando comparados às fontes não renováveis mais poluentes, como Carvão, Petróleo e derivados e Gás Natural, gera externalidades positivas para a sociedade, por reduzir a poluição e assim evitar inúmeros problemas de saúde pública, além de gerar um benefício privado adicional à rentabilidade exigida pelo investidor. Vale destacar que esta isenção foi “aplicada” hipoteticamente aplicada somente ao capital necessário para implantar a CGF, podendo este benefício privado aumentar ainda mais na medida em que forem concedidas isenções fiscais nas tarifas de energia elétrica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises de viabilidade econômico financeira deste estudo de caso, conclui-se que a implantação de uma CGF em Santa Catarina é viável, apresentando uma rentabilidade acumulada de R\$6.029.509,84, um VPL de R\$24.656,79, uma TIR de 13,47%, um IL de 1,02 e o tempo estimado de retorno do investimento sendo 10 anos.

Por meio da análise de sensibilidade, foi possível verificar os limites das principais variáveis que alteram significativamente o fluxo de caixa do investimento, sendo uma análise muito importante ao investidor, uma vez que o mercado está sujeito à muitas variações e estas mudanças de mercado devem ser levadas em conta nas tomadas de decisões, para que o investimento a ser realizado proporcione rentabilidade.

Por meio da análise de sensibilidade, verificou-se que a taxa de câmbio limite para a viabilidade do investimento é de R\$ 4,1030, a taxa de juros limite é de 16,10% e o Reajuste das Tarifas de Energia Elétrica é de 6,85%.

A maior sensibilidade ocorreu no reajuste tarifário, o que leva o investidor a realmente decidir pela implantação da CGF sempre que a energia for mais cara, ou seja, sempre que houver um aumento das tarifas de energia elétrica acima da inflação, o investidor aumenta a rentabilidade, uma vez que estará gerando sua própria energia e não será necessário pagar tarifas de energia da energia elétrica que seria comprada da concessionária, caso não a produzisse. Desta forma, para uma análise mais coerente, o investidor deve prezar em verificar a rentabilidade do investimento considerando reajustes próximos da inflação, no intuito de evitar estimativas que supervalorizam o retorno do investimento.

Vale destacar que o alto custo das tarifas de energia elétrica influencia a sociedade e reduzir o consumo de energia. Contudo, uma indústria muitas vezes não pode reduzir o consumo de energia, e, em um cenário de aumento das tarifas de energia elétrica, o consumidor/indústria seria beneficiada por realizar um investimento de produção de energia solar, uma vez que, quanto maior for o reajuste tarifário, maior será a rentabilidade do investimento.

Em relação à taxa de juros, quanto maior esta for, mais desestimula o investimento. Na análise de sensibilidade ficou evidente que com um aumento das taxas de juros, a rentabilidade do investimento diminui, fazendo com que muitos investidores desistam de implantar projetos e invistam em títulos do governo, obtendo maiores ganhos.

Analisando-se a sensibilidade da taxa de câmbio, quando há uma apreciação, maior é a rentabilidade do investimento; por outro lado, esta apreciação da taxa de câmbio desestimula a

indústria nacional. Contudo, considerando-se que a indústria brasileira no setor de energia solar ainda é carente e muitas vezes os produtos precisam ser importados, em cenário de apreciação da taxa de câmbio há um maior retorno do investimento. Taxas de câmbio depreciadas implicam na perda da rentabilidade do investimento, neste caso, taxas de câmbio mais altas por um longo período deveriam promover o investimento no setor de energia solar com componentes importados. Faz-se necessário desenvolver uma forte indústria nacional neste setor, por meio de incentivos em pesquisa e inovação tecnológica e também uma reavaliação da estrutura tributária com a finalidade de promover o empreendedorismo.

Na análise das externalidades, foi verificado que a energia solar fotovoltaica é vantajosa quando comparada à energia gerada pelo Carvão, Petróleo e derivados e Gás Natural, por reduzir a poluição em relação às fontes de energias citadas, uma vez que, de acordo com as estatísticas de geração média de CO₂, e de acordo com o cálculo utilizado o Carvão polui até 2.300% a mais, o Petróleo e derivados polui até 1.925% a mais e o Gás Natural polui até 1.025% a mais.

Na seção 2.1 (Crescimento Econômico mundial e desenvolvimento sustentável) do capítulo 2, foi enfatizado a importância da alocação eficiente dos recursos energéticos, além da importância de se reduzir as emissões de poluição, e na seção 4.2.2 (Análise Econômica) do capítulo 4 foi realizada a referência bibliográfica sobre as externalidades. Com base nesta revisão bibliográfica, foi possível quantificar os dados e apresentar as externalidades geradas pela realização do investimento estudado. Por fim, as análises estão de acordo com esta revisão bibliográfica e do ponto de vista econômico, corrobora-se que a energia solar gera autossuficiência, gerando ganhos privados e ao mesmo tempo promovendo benefício social, pela diminuição da poluição ambiental, conforme apresentado na seção 5.3 (Análise Econômica e Externalidades) do capítulo 5.

Sugere-se que novas pesquisas a respeito do tema sejam realizadas, no intuito de verificar as mudanças que ocorrerão na economia e de que forma o mercado de energia solar se desenvolverá no Brasil e no mundo.

É importante realizar uma pesquisa aprofundada a respeito do processo de produção e de descarte dos módulos fotovoltaicos, visando mapear os impactos ambientais decorrentes destes processos e do uso desta tecnologia.

É interessante desenvolver métodos computacionais para simulação de uma maior quantidade de dados para as variáveis analisadas, visando verificar os impactos na viabilidade dos investimentos, baseando-se em termos estatísticos.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 481, de 17 de Abril de 2012.
- ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, de 17 de Abril de 2012.
- ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, de 24 de Novembro de 2015.
- BARBOSE, G. et al. **Tracking the Sun VI: An historical summary of the installed price of photovoltaics in the United States from 1998 to 2012**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2013.
- BORDEAUX-RÊGO, Ricardo et al. **Viabilidade Econômico-financeira de projetos**. Rio de Janeiro: FGV, 2006.
- BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE (New York). **Q 2016 Global PV Market Outlook: Make hay while the sun shines**. New York: Outlook, 2016.
- BRASIL. ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração**. 2016.
- BRASIL. ANEEL. **Cadernos Temáticos ANEEL Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2016.
- BRASIL. ELETROBRAS. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. 2011.
- BRASIL. EPE. **Consumo mensal de energia elétrica por classe**. 2016.
- BROM, L.G.; BALIAN, J.E.A. **Análise de Investimentos e Capital de Giro: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Saraiva, 2007.
- CALIFORNIA. NASA. **Carbon Dioxide**. 2015.
- CAMEX. RESOLUÇÃO Nº 29, de 29 de Abril de 2015.
- CAMEX. RESOLUÇÃO Nº 6, de 26 de Janeiro de 2016.
- CASAROTTO FILHO, Nelson.; KOPITTKE, Bruno Hartmut. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial** 8. ed. São Paulo: Atlas, 1998.
- FREITAS, Bruno Moreno Rodrigo de; HOLLANDA, Lavinia. **Micro e Minigeração no Brasil: Viabilidade Econômica e Entraves do Setor**. São Paulo: FGV, 2015.
- GREEN, M.A. **Silicon photovoltaic modules: a brief history of the First 50 years**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, v.13, n.5, 2005.
- GREENPEACE., **Revolução Energética: A caminho do desenvolvimento limpo**, 2013.

HIRSCHFELD, Henrique. **Engenharia econômica e análise de custos**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 1989.

IBRD. **Electric power consumption (kWh per capita)**. 2013.

IPCC. **RENEWABLE ENERGY SOURCES AND CLIMATE CHANGE MITIGATION: SPECIAL REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE**. Usa: Published For The Intergovernmental Panel On Climate Change, 2012.

IRENA, *Solar Photovoltaics*, IRENA Working Paper, **Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series**, Volume 1: Power Sector, Issue 4/5, International Renewable Energy Agency, Bonn, 2012.

MANKIW, G. **Introdução a Economia**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2007.

MIRANDA, R. F.C., **Análise da inserção de geração distribuída de energia solar fotovoltaica no setor residencial brasileiro**. 291 pg. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, UFRJ, RJ, 2013.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero. **AQUECIMENTO GLOBAL: UMA VISÃO CRÍTICA**. *Revista Brasileira de Climatologia*, Alagoas, 2008. Mensal.

NAKABAYASHI, Renny. **MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO BRASIL: VIABILIDADE ECONÔMICA**. 2015. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, USP, São Paulo, 2015.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, 2016.

REN21 STEERING COMMITTEE (Paris) (Org.). **Renewable Energy Policy Network for the 21st century**. França, 2016.

SAGAN, Carl. **The Cosmic Connection An Extraterrestrial Perspective**. New York: Dell, 1975.

SALAMONI, I. T. **Um programa residencial de telhados solares para o Brasil: diretrizes de políticas públicas para a inserção da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica**. Tese de Doutorado, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEC/UFSC), 2009.

SEIA. **Solar Industry Expected to Add Over 200,000 New Jobs by 2020**. 2015.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A., **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos: Fundamentos, Técnicas e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Atlas S.A., 1997.

THE PEW CHARITABLE TRUSTS, 2014, Washington. **Who's Winning the Clean Energy Race?** Washington: Pew's, 2014.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais.** 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

UNITED NATIONS, 2015, New York. **Population 2030:** Demographic challenges and opportunities for sustainable development planning. New York: Un, 2015.

VARIAN, H. R. **Microeconomia - Princípios Básicos.** Tradução da 7a edição ed. [s.l.] Elsevier, 2006.

VASCONCELOS, Marco Antonio Sandoval de; TROSTER, Roberto Luis. **Economia Básica.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 1998. 1 v.

VILCO ENGENHARIA, **Relatório Interno SOL300;** 2015.

Wiser, R., M. Bolinger, P. Cappers, R. Margolis, **Letting the Sun Shine on Solar Costs: An Empirical Investigation of Photovoltaic Cost Trends in California.** Lawrence Berkeley National Laboratory, January 2006.

APÊNDICE

Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL):

$$VPL = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+i)} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \frac{CF_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{CF_n}{(1+i)^n}$$

CF₀ = Investimento inicial a ser realizado, portanto é uma saída de caixa do investidor;

CF = Fluxos de caixa líquidos, esperados como retorno do investimento;

i = Taxa de desconto ou de atratividade, esta que permite trazer o Fluxo de Caixa a valor presente;

n = período ou número de fluxos de caixa considerados para o retorno do investimento a ser realizado.

Cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR):

$$Zero = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+TIR)} + \frac{CF_2}{(1+TIR)^2} + \frac{CF_3}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{CF_n}{(1+TIR)^n}$$

Zero = Valor Presente Líquido (VPL);

CF₀ = Investimento inicial a ser realizado, portanto é uma saída de caixa do investidor;

CF = Fluxos de caixa líquidos, esperados como retorno do investimento;

n = período ou número de fluxos de caixa considerados para o retorno do investimento a ser realizado.

Cálculo do *Payback* Simples:

$$Payback\ Simples = \frac{I}{\sum CF_n}$$

I = Investimento;

CF = Fluxos de caixa esperados como retorno do investimento;

n = período ou número de fluxos de caixa considerados para o retorno do investimento.

Cálculo do *Payback* Descontado:

$$Payback\ Descontado = \frac{I}{\sum \frac{CF_n}{(1 + TMA)^n}}$$

I = Investimento;

CF = Fluxos de caixa líquidos, esperados como retorno do investimento;

n = período ou número de fluxos de caixa considerados para o retorno do investimento a ser realizado;

TMA = Taxa Mínima de Atratividade, exigida pelo investidor.

Cálculo do Índice de Lucratividade:

$$IL = \frac{VP}{I} \quad \text{ou} \quad IL = \frac{\sum \frac{CF_n}{(1 + TMA)^n}}{I}$$

IL = Índice de Lucratividade;

VP = Valor Presente Fluxo de caixa (recebimentos do período em análise);

I = Investimento;

TMA = Taxa Mínima de Atratividade, exigida pelo investidor.